

## Special Issue

Proceedings of the 12th DiNat Forum 2022

# Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften – Entwicklung des Lawinenwissens zwischen 1820 und 1930

Sabine Stössel<sup>1</sup>, Armin Rempfler<sup>1</sup>

Received: July 2022 / Accepted: September 2022

## Structured Abstract

**Hintergrund:** Schneelawinen als ein Beispiel für Naturgefahren stellen ein geographiedidaktisch relevantes Forschungsfeld dar, weil es um erdräumliche Mensch-Umwelt-Interaktionen geht. Der historischen Entwicklung dieses Wissens ist insofern didaktisches Potential inhärent, als sie aufzuzeigen vermag, über welche Fragen oder Inkonsistenzen und auf welchen Wegen sich objektives Wissen formiert hat.

**Ziel:** Dieser wissenschaftshistorische Beitrag untersucht die Frage, wie sich Lawinenwissen zwischen dem frühen 19. Jahrhundert und der institutionellen Verwissenschaftlichung der Lawinenkunde um 1930 entwickelte.

**Stichprobe/Rahmen:** Aus ca. 80 Primärquellen wurden 54 als relevant erkannt und unter Beizug von Sekundärquellen inhaltsanalytisch ausgewertet.

**Design und Methoden:** Angelehnt an das Modell der Didaktischen Rekonstruktion und basierend auf Leitbegriffen der aktuellen Lawinenforschung wurde fünfschrittig vorgegangen: 1) Zusammenstellung des Primär- und Sekundärquellenkorpus, 2) Unterscheidung von vier Textgattungen, 3) Kategorienbildung basierend auf aktuellem lawinenkundlichen Forschungsstand, 4) Analyse des Primärquellenkorpus anhand der Leitkategorien, 5) Kritische Reflexion der forschungsleitenden Vorannahmen.

**Ergebnisse:** Die Ergebnisse der qualitativen Studie widerlegen den aktuellen historischen Forschungsstand: Der bis dato geführte wissenschaftliche Diskurs zur Entwicklung des Lawinenwissens blendet beachtliche Erkenntnisse der «Skiratgeber-Literatur» völlig aus. Es lässt sich nachweisen, dass die Ratgeberautoren Paulcke und Zdarsky bis 1930 einen Erkenntnisstand zur Entstehung von Schneebrettlawinen erlangten, der mehrheitlich dem heutigen Wissen darüber entspricht.

**Fazit:** Aus didaktischer Sicht und insb. aus der Perspektive von Nature of Science offenbaren die präsentierten Ergebnisse hohes Potential, um an ihnen grundlegende Prinzipien naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns zu vermitteln.

**Keywords:** *Lawinenbildung, Nature of Science, Qualitative Inhaltsanalyse*

---

**Background:** Snow avalanches as an example of natural hazards represent a research field relevant to geography education because it is about spatial human-environment interactions. The historical development of this knowledge contains didactic potential because it is able to show through which questions or inconsistencies and along which paths objective knowledge has been formed.

**Purpose:** This contribution to the history of science examines the question of how avalanche knowledge developed between the early 19th century and the institutional scientification of avalanche science around 1930.

**Sample/Setting:** Out of approximately 80 primary sources, 54 were identified as relevant and evaluated by content analysis with the help of secondary sources.

**Design and Methods:** Following the model of didactic reconstruction and based on guiding concepts of current avalanche research, the following steps were taken: 1) compilation of the corpus of primary and secondary sources, 2) differentiation of four text genres, 3) formation of categories based on current avalanche research, 4) analysis of the corpus of primary sources using the guiding categories, 5) critical reflection on the guiding assumptions of the research.

**Results:** The results of the qualitative study refute the current state of historical research: the scientific discourse on the development of avalanche knowledge to date completely ignores considerable findings in the «ski guide literature». It can be shown that by 1930 Paulcke and Zdarsky, two authors of guidebooks, had acquired a level of knowledge about the formation of slab avalanches that largely corresponds to today's knowledge.

**Conclusions:** From a didactic point of view and especially from the perspective of Nature of Science, the results presented reveal a high potential for teaching basic principles of how scientific knowledge is gained.

**Keywords:** *Avalanche formation, Nature of Science, Qualitative content analysis*

---

<sup>1</sup>Pädagogische Hochschule Luzern, Geographiedidaktik  
✉ armin.rempfler@phlu.ch

## 1 Einführung

Die Entstehung von Lawinen konstituieren ein geographiedidaktisches Forschungsfeld, nämlich Phänomene, welche aus «Wechselbeziehungen zwischen dem System Erde [...] und dem Menschen» (DGfG, 2020) resultieren. Lawinen bzw. ihre Genese zeichnen sich durch eben diese Interaktion aus, denn es sind natürliche, erdräumlich relevante Erscheinungen mit deutlichem Einfluss auf das Leben und Verhalten der Menschen. Heute ist sogar die Mehrzahl aller Lawineneingunglücksfälle anthropogen bedingt. Entsprechend zielt geographiedidaktische Forschung auf den Aufbau von Kompetenzen im Umgang mit komplexen Systemen an exemplarischen Inhalten wie bspw. Lawinen, stellvertretend für weitere Naturgefahren, die Jugendliche erwiesenermassen stark interessieren (Rempfler & Künzle, 2013).

Studien zu Alltagsvorstellungen über Lawinen zeigen, dass Lernende mit naiven mentalen Modellen tendenziell über kein Schichtverständnis verfügen (Rempfler, 2010a; Rempfler, 2010b; Tscherfing, 2011). Lawinen können aber praktisch nur entstehen, wenn sich eine Schneedecke aus verschiedenen Schichten aufbaut. Einzige Ausnahme ist die Gleitschneelawine (Schweizer et al., 2013). Es liegt deshalb nahe, dass sich auch die historischen Protagonisten erwähltes Schichtverständnis erst aufbauen mussten, um es dann mit lawinengenetischen Erklärungen in einen Zusammenhang zu bringen. Der vorliegende Beitrag klärt deshalb die Frage nach schichtbasierten Lawinengenese-Vorstellungen zwischen 1820 und 1930, also zwischen erstem (implizitem) Schichtbewusstsein und der offiziellen Verwissenschaftlichung der lawinenkundlichen Disziplin. Ziel ist, mit den herausgearbeiteten historischen Denkfiguren eine Basis für weitere fachdidaktische Arbeiten zu schaffen, welche die Entwicklung und Veränderung subjektiven Wissens aufgreifen.

## 2 Theoretischer Hintergrund und lawinenkundlicher Forschungsstand

Das naturwissenschaftsdidaktische Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997) behandelt fachliches Wissen und Alltagsvorstellungen von Lernenden gleichwertig und bezieht sie wechselseitig aufeinander, um hierdurch die Bedingungen eines lernförderlichen Unterrichts abzuleiten. Vorliegend geht es ausschliesslich um die eine Komponente dieser Rekonstruktion, nämlich die fachliche Klärung. Das heisst, die Analyse historischer fachlicher Wissenskonzeptionen im Kontext der Lawinenbildung steht im Zentrum (Stössel, 2017). Die historische Entwicklung dieses Wissens weist didaktisches Potential auf, weil sie aufzeigen kann, über welche Fragen oder Inkonsistenzen und auf welchen Wegen sich objektives Wissen formiert hat. Daraus leiten sich Impulse für die aktive Wissenskonstruktion von Lernenden im Unterricht ab. Denn historische Vorstellungen widerspiegeln nicht nur Schwierigkeiten oder Missverständnisse, wie sie auch Alltagsvorstellungen (bzw. Präkonzepte) Lernender aufweisen können. Sie zeigen ausserdem, wie die damaligen Protagonisten zu ihren Resultaten kamen und wie sie diese begründeten; sie elementarisieren fachliches Wissen und zeigen damit Möglichkeiten der didaktischen Strukturierung der Lerninhalte für die Gegenwart auf. Für vorliegende Studie leitend ist die Frage nach schichtbasierten lawinengenetischen Erklärungen historischer Diskurse. Damit spezifiziert die Arbeit von Beginn weg ein grundlegendes Element lawinengenetischer Vorstellungen: das Wissen um den Schichtaufbau der Schneedecke.

Viel grundlegender und unterrichtlich nicht weniger relevant als herauszufinden, wie sich lawinenkundliches Wissen entwickelt hat, stellt sich die Frage, wie überhaupt naturwissenschaftliche Erkenntnis zustande kommt. Nature of Science (NOS) als ein zentrales Konzept der Naturwissenschaftsdidaktik versteht naturwissenschaftliche Grundbildung darin, neben dem Verständnis fachlicher Inhalte auch ein Verständnis typischer Herangehens- und Denkweisen in den Naturwissenschaften zu vermitteln. Es besteht ein gewisser Konsens darüber, welcher NOS-Aspekte sich Lernende bewusst sein sollten, nämlich der Bedeutung von sozialem und kulturellem Einfluss, Kreativität, Beobachtung und Schlussfolgerung, Veränderbarkeit, Theorie und Gesetz sowie vielfältigen naturwissenschaftlichen Methoden (Koska & Krüger, 2012; Neumann & Kremer, 2013; Lederman, 2014). Vor diesem Hintergrund stellt sich vorliegender Beitrag auch der Frage, inwiefern sich die Ergebnisse der historischen Analyse für die Vermittlung von NOS-Aspekten eignen.

### 2.1 Historischer lawinenkundlicher Forschungsstand

Bislang wurde die Schnee- und Lawinenforschung in der Geschichtswissenschaft kaum beachtet. Bis heute findet sich weder im deutschen, englischen noch französischen Sprachraum eine umfassende historische Abhandlung dazu. Beiträge zur Thematik gründen hauptsächlich auf Untersuchungen durch Naturwissenschaftler. So verfassten v.a. Exponenten des Instituts für schweizerische Schnee- und Lawinenforschung wie etwa Fankhauser (1929), Petitmermet (1943) oder Föhn (2007) Artikel über wichtige wissenschaftliche Neuerkenntnisse oder die Geschichte ihres Instituts. Aussensichten oder auch Arbeiten zur Entwicklung der gesamten Disziplin fehlten. Eine solche – allerdings international ausgerichtet und daher in konkretem Bezug auf den deutschsprachigen Alpenraum eher unscharf (Achermann, 2009, S. 7 f) – veröffentlichte Colbeck (1987). Überblicksmässig unterteilte er die Geschichte der Schnee- und Lawinenforschung in vier Perioden: 1) *Preparation* (bis 1900) – nur beiläufige Beobachtungen ohne schriftliche Quellen; 2) *Discovery* (1900 - 1936) – Untersuchungen durch individuelle Personen in Nordamerika, Japan und Europa; Studien über Lawinen und die Metamorphose von Schnee in der Schweiz; 3) *Recent* (1936-1970) – prägendste Ereignisse der Geschichte der Schneeforschung (z.B. Gründung staatlicher Laboratorien); 4) *Current* (ab 1970). Diese Einteilung ist nur in Teilen haltbar, denn entgegen Colbeck liegen schon aus der Zeit vor 1900 schriftliche Quellen zu Lawinenbe-

obachtungen vor. Ebenso wurden erste Studien über Lawinen und Schneemetamorphose nicht durch Schweizer Exponenten, sondern durch den Deutschen Wilhelm Paulcke und den Österreicher Mathias Zdarsky – Ratgeberautoren, Skifahrer und Naturwissenschaftler – bereits in den 1920er Jahren durchgeführt. Daher ist ebenso dem Lawinen-Eintrag des Historischen Lexikons der Schweiz (HLS) zu widersprechen, der die Pionierrolle der Schweiz in der Verwissenschaftlichungsphase anfangs der 1930er Jahre behauptet; eine Haltung, die sich auch in Achermanns (2009) Lizentiatsarbeit reflektiert, wenngleich sie zumindest auf Paulckes Einfluss hinweist. Ihre Arbeit untersucht als ersten historischen Beitrag die Wissensentwicklung der Schnee- und Lawinenforschung in ihren Anfangsjahren und kontrastiert diese mit früheren Wissensständen. Sie ignoriert jedoch wesentliche frühere Quellen (insb. den gesamten Ratgeberdiskurs), was ihre Ergebnisse in weiten Teilen revidierbedürftig machen. Was also bislang fehlte, war eine Zusammenstellung, welche Autorengruppen bzw. Textgattungen die Lawinenthematik – v.a. lawinengenetische Überlegungen – bis 1930 überhaupt diskutierten. Zwar verweist Rabusseau (2007) in seinem Beitrag zur Deutung von Lawinenphänomenen im 18. Jh. auf das Genre der Reiseberichte; dieser Hinweis blieb in erwähnten Folgearbeiten allerdings unbeachtet. Er bestätigt zudem den festgelegten Zeitraum vorliegender Arbeit, zumal lawinengenetische Überlegungen in vormoderne Zeit sich durchgängig auf mystische Erklärungen – Hexen, Kobolde, etc. – abstützten. Es ist Rabusseaus Verdienst, als erster das historische Potential der Lawinenthematik erkannt zu haben. Im selben Jahr publizierte auch der Ethnologe Hans Haid (2007) «eine Kulturgeschichte» der Lawinen. Es handelt sich um eine umfassende, allerdings nicht wissenschaftliche und eher unsystematische Zusammenstellung verschiedener Aspekte der Lawinenthematik. Sie überzeugt vor allem durch die bis ins 17. Jahrhundert zurückreichende Lawinenchronik, indem zahlreiche – auch kleinste – Lawinenereignisse minutiös dokumentiert werden. Diese Quellenfülle, wenn auch aus chronologischer Sicht wenig überzeugend dargelegt, würdigt auch Achermann (2009, S. 5).

Der aufgedeckte Mangel an historisch-wissenschaftlichen Untersuchungen zur Thematik erstaunt, erklärt sich jedoch teilweise mit den Forschungsschwerpunkten der universitären Ordinarien: So erfuhr eine wissenshistorische Betrachtung der Lawinenthematik – zumindest in der Schweiz – bislang keine Priorisierung. Einzig Christian Pfister, Emeritus der Umweltgeschichte der Universität Bern, bearbeitete Lawinen, allerdings mit Fokus auf den Zusammenhang von Schneefallmenge und Lawinenunfällen (Latenser & Pfister, 1997; Pfister, 1999); eine Thematik, die in interdisziplinär historisch-naturwissenschaftlichen Arbeitsgruppen der Universität Bern bis heute weiterbearbeitet wird. Die jüngste entsprechende Publikation widmet sich der Aufarbeitung des Lawinenwinters 1916/17 bzw. konkreter Unglücksfälle vor dem Hintergrund des Ersten Weltkriegs unter Berücksichtigung klimahistorischer Quellen (Brugnara et al., 2016).

## 2.2 Aktueller lawinenkundlicher Forschungsstand

Als Referenz für die Einordnung der historischen Vorstellungen zur Lawinenbildung dient der aktuelle lawinenkundliche Forschungsstand. Wie dieser methodisch genutzt wurde, beschreibt Kapitel 3 (Schritt 3). Die moderne wissenschaftliche Lawinenkunde unterscheidet grundsätzlich zwischen zwei Lawinenformen, basierend auf ihrem typischen Lawinenanriss: Lockerschneelawinen und Schneebrettlawinen (Kronthaler & Zenke, 2006). Während erstere punktförmig anreissen, von diesem Störungspunkt an hangabwärts verlaufen und zunehmend breiter werden, brechen Schneebrettlawinen linienförmig an und rutschen entsprechend als flächige Tafeln ab (Harvey et al., 2012). Häufig befindet sich auch der Verursacher des Schneebretts noch auf demselben, da erwähnte linienförmige Abrisskante meist über dem Auslösepunkt liegt (Tschirky et al., 2000). Schneebretter sind für Skitourengeher deshalb nicht nur gefährlicher denn Lockerschneelawinen, sie sind auch wesentlich häufiger, wenn Wintersportler in Lawinenunfälle involviert sind: Rund 95% der entsprechenden Lawinen sind heute Schneebrettlawinen. Sie konstituieren aktuell also die gängigste Lawinenform, von der Menschen betroffen sind. Nur 5% aller Schneebretter gehen spontan, d.h. von selbst, ab (Harvey et al., 2012).

Diesen beiden Haupttypen unterordnen sich nicht nur alle Subkategorien von Schneelawinen, beide setzen zum Verständnis ihrer Entstehung auch voraus, die Schneedecke als geschichtetes Gefüge unterschiedlicher Schneelagen zu erkennen. Anders formuliert: Lawinen können nur entstehen, wenn sich die Schneedecke aus verschiedenen Schichten aufbaut, diese Schichten spezifische Eigenschaften aufweisen und deshalb u.a. nicht gut untereinander verbunden sind. Schneebrett- und Lockerschneelawinen – und damit die Mehrzahl aller Lawinen – kann man in ihrer Genese also nur verstehen, wenn man um den *geschichteten Aufbau der Schneedecke* weiss (Tab. 1, LK A). Alle Subtypen basieren entsprechend ebenfalls auf Schichten. Je nach Klassifikationsmerkmal können Schneebrettlawinen so z.B. auch als Nassschnee- oder Staublawinen abgehen (Harvey et al., 2012, S. 30; Munter, 2009, S. 36). Der Schichtbegriff spielt einzig bei Gleitschneelawinen eine untergeordnete Rolle. Diese können auch mit einem nicht vorhandenen oder nur diffusen Schichtbegriff erklärt werden, weil sie bis auf den Boden abbrechen. Zentral ist bei ihnen also nicht eine Schwachschicht, sondern ein grossflächiger Reibungsverlust zwischen terrestrischem Untergrund und direkt darauf auflagernder Schneeschicht (Schweizer et al., 2013, S. 63). Ein Schichtverständnis ist hier also insofern niederschwellig, als man von einer homogenen Schneedecke ausgehen und nur den Kontakt zwischen dieser und der terrestrischen Beschaffenheit thematisieren kann.

Die Entstehung von *Schneebrettlawinen* (Tab. 1, LK C) ist komplexer. Dafür sind vier Bedingungen wichtig (Harvey et al., 2012):

- 1) Hangneigung: Sie liegt bei rund 30 Grad oder darüber.
- 2) Schichtung: Es muss eine Schwachschicht vorhanden sein, über der eine nicht zu dicke, gebundene Schicht (=Schneebrett) liegt. Letztere muss genügend gebunden sein, denn nur so können Kraftübertragung und Bruchausbreitung erfolgen.
- 3) Variabilität: Die Schichtung, bestehend aus Schneebrett und Schwachschicht, muss genügend flächig vorhanden sein. Nur so kann sich der Initialbruch fortpflanzen.
- 4) Zusatzlast: Es braucht ein auslösendes Element für die Bruchinitiierung, z.B. aufgrund von viel Neuschnee oder eines Wintersportlers.

Voraussetzung für eine Schneebrettlawine ist ein Initialbruch in der Schwachschicht unter dem Schneebrett, ausgelöst durch die erwähnte Zusatzlast. Nach heutiger Auffassung entsteht dabei ein «Antriss». Die schwach gebundenen Schneekristalle kollabieren an dieser Stelle aufgrund der kombinierten Scher- und Druckbelastung. Durch das lokale Zusammenbrechen der Schwachschicht senkt sich auch das darüber liegende Schneebrett leicht ab. Dabei wird zusätzlich Energie frei – oft hörbar als Wumm-Geräusch. Die Eigenschaft des Schneebrettes ist insofern ebenso wichtig wie die Schwachschicht selbst, als Masse und Zusammensetzung des Schneebretts u.a. bestimmen, wie viel Energie für die Bruchausbreitung frei wird. Ist die geschädigte Stelle in der Schwachschicht genügend gross (einige bis Dutzende Quadratdezimeter), setzt sich die Bruchbildung in der Schwachschicht fort – es kommt zur Bruchfortpflanzung, vorausgesetzt, Schwachschicht und Schneebrett sind genügend ausgedehnt. Nach einem grossflächigen Bruch der Schwachschicht entscheidet die Adhäsion zwischen den frischen Bruchflächen, ob es zum Abgang der Lawine kommt. Dabei ist die Hangneigung entscheidend, d.h. je steiler, desto eher werden die Reibungskräfte überwunden und das Schneebrett gleitet ab.

Diese geraffte Darstellung des aktuellen Erkenntnisstandes über die Entstehung von Schneebrettlawinen (Harvey et al., 2012) verdeutlicht, welche zentrale Rolle den schneedeckenimmanenten Prozessen zukommt. Die Herleitung der entsprechenden Leitbegriffe zu den *Merkmale der Schwachschicht* (Tab. 1, LK C1 – C4) wird deshalb ausführlicher dargestellt. Bei der *Schwachschicht* handelt es sich um «eine Schicht innerhalb der Schneedecke, in der sich ein Initialbruch fortsetzen kann» (Kronthaler & Zenke, 2006, S. 57). Konkret bedeutet dies, dass die Bindungen bereits nur schwach miteinander verbundener Schneekristalle brechen. Nach der *Bruchinitiierung* kommt es zudem zu einer *Senkung* der darüber liegenden Schneeschicht «und es wird *Energie* für die Bruchfortpflanzung *frei*» (Harvey et al., 2012, S. 32). Aufgrund der in einer Schwachschicht herrschenden *Spannungen*, die bei einer *Störung* zu erwähnten Brüchen führen, bezeichnet sie der Schweizer Lawinenexperte Munter (2009, S. 79) auch als «gespannte Fallen» (Tab. 1, LK C1). Daneben spielt die Beschaffenheit der Schwachschichten eine zentrale Rolle: Deren *Schneeteilchen* zeigen nur geringe *Kohäsion* untereinander (Tab. 1, LK C2). Sie brechen leicht auseinander. Dieser geringe Verbund hat u.a. mit der Grösse der beteiligten Schneekristalle zu tun. Sie kann sich aufgrund exogener Einflüsse wie Temperatur, Feuchtigkeit, etc. verändern. Werden sie grösser, spricht man von aufbauender Metamorphose. Dabei entstehen typischerweise Beckerkristalle, auch «Schwimmschnee» genannt (Harvey et al., 2012, S. 31). Bei kleiner werdenden Kristallen ist von abbauender Metamorphose die Rede. Je *grösser die Kristalle* sind, desto weniger Berührungsflächen zueinander weisen sie auf, was ihren Verbund schmälert (Kronthaler & Zenke, 2006, S. 61). Bei grossen Kristallen bestehen zudem *grosse Hohlräume* zwischen den Schneeteilchen (Tab. 1, LK C3). Schon beim Ausstechen oder leichten Klopfen brechen Schwachschichten leicht an. Bezeichnend ist dabei ihre glatte Bruchfläche, wobei gilt: «Je glatter die Bruchfläche [...], desto leichter kann sich in der Schicht ein Bruch des Kristallgefüges fortsetzen» (Kronthaler & Zenke, 2006, S. 59). Eine glatte Bruchfläche ist also ein Indiz für das Vorhandensein einer Schwachschicht. In diesem Sinn verweist eine solche Fläche auf einen schlechten horizontalen Verbund der Schneeschichten (zwischen Schwachschicht und Schneebrett). Denn je besser die *Adhäsion zwischen den Schneelagen*, (Tab. 1, LK C4) desto eher bricht die Schneemasse in einem «gestuften Bruch» (ebd.), also einem nicht glatten Bruch, ab, d.h. die Gefahr eines Lawinenabgangs vermindert sich.

### 3 Methodik

Das methodische Vorgehen gliederte sich angelehnt an Mayrings (2010) «qualitativ orientierte kategoriengeleitete Textanalyse» in fünf Schritte:

- 1) Ausgehend von vorhandener historischer lawinenkundlicher Literatur wurde durch unsystematisches Bibliographieren ein erster Teil des Primärquellenkorpus zusammengestellt. Dieser wurde durch gezielte digitale Stichwortsuche bzw. systematisches Bibliographieren und Personalbibliographieren der festgestellten Autoren mit weiterer Literatur ergänzt. Infolge wurden zusätzliche, nicht bibliographierte bzw. rezitierte Werke der herausgearbeiteten Gattungen auf allfällige lawinengenetische Überlegungen untersucht. Dabei wurden u.a. alle Ausgaben (inkl. Jahrbücher) der deutschsprachigen Alpenvereinszeitungen bis 1930, des Schweizerischen Ski-Verbandes (heute Swiss-Ski), ausgewählte lawinengenetisch relevante Artikel entsprechender deutscher und österreichischer Verbände (z.B. das Magazin «Der Schnee») sowie die Periodika der deutschsprachigen Forstverbände (z.B. die ab 1861 erschienene

«Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen» oder die «Österreichische Forst- und Jagdzeitung») systematisch mittels Stichwortsuche auf relevante Artikel durchkämmt. Ebenfalls rezensierten die angegebenen Publikationen entsprechende Monographien, was quellenkritische Hinweise lieferte. Quellenkritik- und Kontext-Modellierung bedurften zudem der Zusammenstellung eines Sekundärquellenkorpus: Dieser konstituierte sich insbesondere aus Selbstzeugnissen (Protokolle, Korrespondenz), die mittels Volltext- und Stichwortsuche in nationalen Archiven wie dem Bundesarchiv und dem ETH-Archiv, aber auch Beständen des Staatsarchivs St. Gallen zusammengestellt wurden. Der Kontakt mit Daniel Sprecher, einem Nachfahren eines der zentralen Autoren der Quellentexte, ermöglichte zudem, an anderweitig nicht abrufbare historische Texte zu gelangen. Die Beschränkung auf deutschsprachige Literatur begründet sich wie folgt:

- Der Einbezug italienisch- und französischsprachiger Quellen hätte den Rahmen der vorliegenden Studie gesprengt.
  - Die untersuchten deutschsprachigen Quellen verweisen auf ein tendenziell niederes Interesse bzw. eher rückständige Ansätze bei italienischen und französischen Autoren.
  - Die Entwicklung der Lawinenkunde nach deren institutioneller Verwissenschaftlichung ab den 1930er Jahren ging massgeblich von deutschsprachigen Ländern aus. Dies stützt die These, dass die Entwicklung auch vor 1930 sich primär in diesen Ländern vollzog.
- 2) Daran anschliessend ergab sich die Frage, nach welchen Kriterien die Texte untergliedert werden können. Zur Beantwortung dieser Frage wurden die Texte zunächst in Bezug auf unterschiedliche Textgattungen untersucht. Dabei bestätigte sich diese gattungsbasierte Einteilung. Durch die dargelegte Vorgehensweise konnten die in Bezug auf Lawinenbildung relevanten Textgattungen, Autoren und konkreten Texte mit ziemlicher Sicherheit herausgearbeitet, quellenkritisch vertieft und kontextuell eingeordnet werden. Es wurde erkannt, a) dass längst nicht alle festgelegten Textgattungen über Lawinenbildung diskutierten; b) dass aber die unterschiedlichen Textgattungen mit spezifischen biographischen Hintergründen der Autoren sowie deren verschiedenen Intentionen, weshalb sie über Lawinen schrieben und an wen sich ihre Schriften primär richteten, korrelierten. Aufgrund der erkannten Wechselbeziehungen anerbot sich die intentionsbasierte Formulierung forschungsleitender Vorannahmen (Stössel, 2017), um mittels diesen – nach der eigentlichen Quellenanalyse – die entsprechenden Ergebnisse zu reflektieren und zu validieren. Als Textgattungen ergaben sich:
- Reiseführer
  - wissenschaftliche Artikel
  - verbauungstechnische Schriften (Forstwesen)
  - Alpin- und Skiratgeber
- 3) Schritt 3 der Methodik umfasste die Kategorienbildung auf Basis des aktuellen lawinenkundlichen Forschungsstandes. Diese Leitkategorien (LK A – LK C, Tab. 1) konstituierten das eigentliche Instrument zur Untersuchung des Primärquellenkorpus. Die Analyse der Fachwerke bestätigte die Wichtigkeit des Schichtbegriffs und der Merkmale lawinenpotentieller Schneelagen – vor allem deren Beschaffenheit – für das Verständnis lawinengenetischer Prozesse, wie sie auch in fachdidaktischen Studien bereits festgestellt wurde. Die Analyse führte schliesslich zur Festlegung semantischer Leitbegriffe; sie sind in 2.2 entsprechend kursiv hervorgehoben und finden sich als Überblick in Tabelle 1. Angesichts der Wichtigkeit und der fachlichen Komplexität dieses dritten methodischen Arbeitsschrittes wurden die Ergebnisse einer externen Expertenvalidierung (Bergführer, SLF-Mitarbeiter/-innen) unterzogen und Detailfragen entsprechend geklärt.
- 4) Anhand dieser Kategorien wurde das Quellenmaterial analysiert und nach semantisch gleichwertigen Begriffen gesucht. Hierbei lag die besondere Schwierigkeit darin, dass bestimmte heutige Leitbegriffe nur implizit über historische Pendanten erschliessbar sind. Gelöst wurde diese methodische Herausforderung, indem die lawinengenetische Denkfigur des Verfassers als Gesamtes herausgearbeitet wurde, um so die logische Kohärenz des Teilmerkmals zu überprüfen. Ein Beispiel: Die heutige Literatur spricht von einem (Initial-) Bruch in einer Schwachschicht, während in den historischen Quellen von einem Schnitt die Rede ist. Der semantische Kern der beiden Begriffe «brechen» und «schneiden» verweist also auf die Durchtrennung von Schneeteilen. Dabei handelt es sich um Teilmerkmale, die sich in ihrer gesamten Bedeutung durch das damit begründete Abrutschen erschliessen. Die grundlegende Denkfigur hinter den beiden Begriffen ist demnach identisch, jedoch fehlt bei der historischen teilweise noch eine Kombination mit weiteren (Teil-)Denkfiguren. Bei besonders anspruchsvollen Vorstellungen fand jeweils eine Abgleichung mit einer fachkundigen Zweitperson – im Sinne einer intersubjektiven Überprüfung – statt. Diese Bearbeitung des Quellenmaterials anhand der gewählten Leitkategorien erwies sich als ausgesprochen ergebnisreich, weil jede Kategorie die jeweiligen historischen Denkfiguren neu perspektivierte und somit Gedankengänge freizulegen vermochte, welche bei ihrer ausschliesslich holistischen Betrachtung nicht zutage getreten wären. Etwas nachteilig bei diesem Verfahren zeigte sich der Umstand, dass die historischen Begriffe nicht immer eindeutig den heutigen Leitkategorien zuordenbar waren und die Ergebnisse teilweise unvermeidbare Redundanzen aufwiesen.
- 5) Um die erhobenen quellenanalytischen Ergebnisse zu schärfen und vor allem ihrer besseren Einordnung willen folgte eine gezielte kontextuell-quellenkritische Perspektivierung. Dazu wurden die im 2. Schritt erwähnten forschungsleitenden Vorannahmen reflektiert, d.h. es wurde untersucht, inwiefern die vermuteten Intentionen der historischen Autoren zutrafen oder nicht. Damit ging eine gruppenspezifische Zusammenfassung der Ergebnisse einher (s. dazu Stössel, 2017, 65 ff.). Zudem wurden die Resultate inkl. allfälliger Abweichungen von den Vorannahmen durch den kontextuellen und quellenkritischen Hintergrund der Autoren zu erklären versucht mit dem Ziel, ebendiese Resultate besser zu verstehen. Mit diesem Vorgehen versuchte man bspw. zu klären, warum Mathias

Zdarsky sich ab den 1920er Jahren auf die innere Beschaffenheit von Schwachschichten fokussierte. Erklärbar dürfte dies zumindest teilweise durch seinen Lawinenunfall 1916 und die damit verbundene Bewegungseinschränkung sein, die seine Motivation, schichtimmanente Vorgänge der Lawinenbildung endgültig zu verstehen, vermutlich wesentlich erhöhte.

## 4 Ergebnisse der Quellenanalyse

Folgend werden die Ergebnisse der Quellenanalyse, d.h. die Vorstellungen der vier historischen Autorengruppen, entlang erwähnter Kategorien aufgezeigt. Die zehn Kategorien (Tab. 1) leiten sich, wie in Kapitel 3 dargelegt, aus dem heutigen lawinenkundlichen Forschungsstand (Kap. 2.2) ab. Nach ihnen wurde in den historischen Schriften gesucht. Es wurde versucht, die mentalen Konstrukte der historischen Autoren nachzuvollziehen und herauszuarbeiten und sie am heutigen Wissensstand zu reflektieren und einzuordnen. Die diesem Beitrag zugrundeliegende Studie im Rahmen einer Masterarbeit (Stössel, 2017) analysierte sämtliche in Tabelle 1 aufgeführten Leitkategorien. Aus Platzgründen und weil die Schneebrettlawine insb. mit den Merkmalen der Schwachschicht den Schlüssel zum Verständnis entsprechender Lawinengenese bildet, beschränkt sich die Ergebnisdarstellung auf die Kategorien LK A und LK C bzw. LK C1 – C4. Gleichermassen erfolgte die Darstellung des Forschungsstandes (2.2).

**Tab. 1.** Die 10 Leitkategorien im Überblick.

LK A	Aufbau der «Schneedecke» in «Schichten»		
LK B	Lockerschneelawine	«unverfestigter Schnee» und/ oder «durchfeuchteter, wenig fester Schnee» als «oberste Schicht»	
LK C	Schneebrettlawine		
	LK C1	Merkmale der Schwachschicht	«Bruch», «Senkung», «Spannung», «Energie»-(Freisetzung) bei «Störung»
	LK C2		«Kohäsion zwischen Schneeteilchen»
	LK C3		«Grösse der Kristalle», «(grosse) Hohlräume»
	LK C4		«Adhäsion zwischen den Schneelagen»
	LK C5	Merkmale der auflagernden Schicht	«weicher, gebundener Schnee»
	LK C6		«dichter und harter Schnee»
	LK C7	Nassschneelawine	«feuchte obere Schicht», «darunter Schwachschicht»
LK C8	Staublawine	«Schneebrettlawine», «trockener kalter Schnee», «steiles Gelände», «Absturz»	

### 4.1 Schichtverständnis

Leitkategorie (LK A): Aufbau der «Schneedecke» in «Schichten»

Johann Georg Kohl ist seiner Zeit weit voraus, wenn er 1851 in seinem alpinen Reiseführer explizit den Aufbau von Schneedecken in mehreren Schichten beschreibt. Dieses Schichtverständnis verweist auf das damalige mögliche Vorhandensein eines solchen Wissens, erklärbar u.a. durch die Möglichkeit, die Schneedeckenentstehung auch im Mittelgebirge oder in flacheren Gebieten zu beobachten. In der Reiseführer-Literatur dürfte es sich allerdings um isoliert-individuelle Wissensbestände gehandelt haben.

Denn erst in den 1890er-Jahren formiert sich ein wissenschaftlicher Diskurs über den Schneedeckenaufbau: 1889 publiziert der Geograph Friedrich Ratzel die bislang erste Studie zu dem Thema im deutschen Sprachraum. «In allen [...] Erscheinungen», so zeigt sich der Leipziger Ordinarius überzeugt, «erfüllt der aus Eiskristallen bestehende Schnee die Bedingungen, welche den Begriff des Gesteins umgeben» (1889, S. 114). Er vergleicht also die Schneedecke mit einem Schichtgestein, denn sie weist eindeutig «Schichtungen [auf], welcher der Abbruch einer Schneeablagerung erkennen lässt» (1889, S. 147). Eindrücklich ist sein Schluss, es müsse «jene innere Ungleichmässigkeit der Schneelager eine

Hauptursache der Lawinenbildung» (ebd., S. 238) sein. Ratzel untersucht den Gegenstand nicht weiter, stösst damit aber zusätzliche geographische und geologische Arbeiten an, deren Hauptfokus allerdings auf gletscherkundlichen Fragestellungen liegt. So interessiert z.B. die Frage, wie sich Schnee in Eis umwandelt. Im deutschsprachigen Raum dürfte um die Jahrhundertwende einzig Friedrich Wilhelm Sprecher rein wissenschaftliche Artikel zur Lawinenthematik publizieren (Sprecher, 1900; Sprecher, 1902; Sprecher 1903). 1903 entwickelt er die These, jede Schneedecke sei in vier Schichten immer gleicher Abfolge aufgebaut: «unten Eis, darüber Firn, dann zusammengesinterten, aber noch nicht verfirnten Schnee, zu oberst [sic!] den mehr oder weniger in ursprünglicher Kristallform erhaltenen Neuschnee» (Sprecher, 1903, S. 365). Aber auch Sprecher interessiert sich nicht primär für die Entstehung von Lawinen, weshalb er sich keine Gedanken zum Zusammenwirken dieser Schichten macht. Erst 1912 erörtert er diese Frage eher oberflächlich-allgemein (Sprecher, 1912a; Sprecher 1912b). Sie reicht aber aus, um später von Emil Hess, dem damaligen Eidgenössischen Forstinspektor, als «erste[r], der auf die grosse Bedeutung der Schneeschichtung bei der Lawinenbildung hingewiesen» habe, bezeichnet zu werden (Hess, 1936, S. 11). Hess erliegt damit einer Fehlmeinung, denn 1912 wird die Schichtfrage von zahlreichen Skiratgeber-Autoren bereits äusserst virulent und differenziert diskutiert. Dies im Gegensatz zum wissenschaftlichen Diskurs, der sich erst ab den späten 1920er Jahren intensiv mit Lawinengenese und deren Zusammenhang mit Schichtungsfragen auseinanderzusetzen beginnt. 1930 erscheint eine erste Dissertation zur Stratigraphie der Schneeablagerungen (Welzenbach, 1930). Allen vorangegangenen Lawinenschäden und -opfern zum Trotz wird erst jetzt zunehmend anerkannt, dass wissenschaftliche Erkenntnis um die Entstehung von Lawinen – und damit auch dem Aufbau der Schneedecke in Schichten – nur durch entsprechende adäquate finanzielle Unterstützung voranzutreiben ist. Parallel zur Anerkennung der Schichtfrage und der finanziellen Unterstützung entsprechender Forschung findet die Frage der Lawinengenese definitiv Aufnahme in die Wissenschaft.

Mit der Verwissenschaftlichung der Lawinenkunde um 1930 anerkennen auch die Autoren von Artikeln zu Lawinenverbauungen und -schutz, wie wichtig der Schichtaufbau der Schneedecke bei der Lawinenentstehung ist. Abgesehen von Ausnahmen wie Sprecher sind sie bis zu diesem Zeitpunkt die einzigen in der Schweiz, die über Lawinenphänomene schreiben. Es ist bezeichnend, dass ihre frühen Publikationen den Schichtaufbau der Schneedecke nur marginal und oberflächlich aufgreifen. Zwar erwähnt Coaz (1881, S. 43 f) bereits den Begriff der «Oberlauinen», führt diesen aber erst 1910 mit dem Schichtbegriff aus, wobei seine kurz gehaltene Erklärung ein einfaches Zwei-Schicht-Verständnis annehmen lässt (Coaz, 1910, S. 14). Auch Pollack (1906), Lawinenverbauer im Dienst des österreichisch-ungarischen Eisenbahnministeriums, sowie der erwähnte Sprecher (1910), der auch in Forstpublikationen seine Erkenntnisse zu streuen versucht, thematisieren den Schichtaufbau nur kurz. Allerdings lassen ihre Ausführungen im Gegensatz zu jenen Fankhausers (1929), wieder eines Forstinspektors, einen Mehrschichten-Aufbau erkennen. Die meisten verbauungstechnischen Schriften enthalten aber keine oder nur marginale Überlegungen zum Schichtaufbau und also auch nicht zu entsprechender Lawinengenese (s. auch Henne, 1925; Schädelin, 1934; Loretan, 1935; Hess, 1936). Zwar verfügen wohl die meisten Autoren ab den 1880er Jahren über einen zumindest impliziten Schichtbegriff, aber sie erkennen für ihre Praxis keine Relevanz. Zu lange hätte man keinen Zusammenhang zwischen wirksamen Lawinenverbauungen und Lawinenentstehung – und damit auch dem Aufbau der Schneedecke in Schichten – gesehen, gesteht Forstinspektor Hess (1936, S. 5) denn auch selbstkritisch ein. Deshalb habe man die Abrissgebiete auch praktisch ausschliesslich im Sommer aufgesucht. Dabei, so Hess, hätte man «wohl die Wirkungen der Lawinen, nicht aber ihre Entstehung festgestellt» (ebd.). Ein Umstand, den Pollack in Bezug auf die Schweiz schon um die Jahrhundertwende kritisiert und in Österreich-Ungarn geändert hatte. Denn wie in der Schweiz hatte sich offenbar auch im Kaiserreich in den entsprechenden Kreisen die Meinung etabliert, «dass zur Winterszeit die Verbauungen in den Anbruchgebieten ungangbar oder wenigstens überflüssig seien» (Pollack, 1906, S. 6 f). Der entsprechenden Autorengruppe erschien die Frage der Lawinengenese – und damit des Schichtaufbaus – lange nicht primär. Wenn sie sie thematisierten, dann im Hinblick auf die Beschaffenheit des terrestrischen Untergrunds und ohne Fokus auf die Schneedeckenschichtung, denn auf ebendiesem Untergrund errichteten sie die entsprechenden Schutzverbauungen.

Trotz langewährender wissenschaftlicher und forstwirtschaftlicher Zurückhaltung in Bezug auf die Schneedecken-Schichtungs-Thematik fällt Ratzels Werk auf fruchtbaren Boden. Zeitgleich, ab den 1890er Jahren, kommt nämlich Skilaufen im Alpenraum auf. In kurzer Zeit gewinnt der in Mitteleuropa junge Sport immer mehr Begeisterte. Unter den Anhängern finden sich zahlreiche Akademiker und deshalb auch Naturwissenschaftler. Sie beginnen ab der Jahrhundertwende in beträchtlicher Zahl, sich konkret mit dem Schichtaufbau der Schneedecke – und in Folge – mit dessen Einfluss auf die Entstehung von Lawinen auseinanderzusetzen und u.a. auch bestehende wissenschaftliche Werke miteinzubeziehen. Lediglich ältere allgemeine Alpinratgeber wie bspw. Zsigmondy (1885) stützen sich noch auf einen diffusen, marginalen bis nicht vorhandenen Schichtbegriff ab. Für die «jüngere» Generation der Skiratgeber hingegen scheint der Schichtaufbau so grundlegend und selbstverständlich, dass sie nicht immer explizit von «Schichten» spricht. Zdarsky etwa bezeichnet den geschichteten Aufbau der Schneedecke als «Zwiebelschalen ähnlich» (1929, S. 21), aber schon viel früher expliziert er den Schichtaufbau, wenn er den von ihm geprägten Begriff der «Schichtlawine» erklärt und meint, bei einer solchen würden «nur die oberen Schneeschichten ab[gehen], die unteren Schneeschichten bl[ieben] [...] lawinensicher liegen» (1916, S. 13). Sogar noch früher lässt sich die Selbstverständlichkeit, dass Schneedecken in Schichten aufgebaut sind, in der Ratgeber-Literatur erkennen: So meint Paulcke (1908, S. 87), im Hinblick auf die Lawinenentstehung sei «nie die Oberflächenbeschaffenheit des Schnees allein in Rechnung [zu] ziehen». Stets sei «an den Querschnitt [zu] denken [...], da [...] u.a. die] Art der Uebereinanderschichtung verschiedener Schneelagen von ausschlaggebender Wichtigkeit» sei. Zdarsky wie Paulcke und zahlreiche andere Autoren dieser Gruppe sehen also das Wissen um den Aufbau der Schneedecke in Schichten als Basis jeglichen Lawinenverständnisses und fokussieren davon ausgehend direkt die Frage der Genese von «Schneebrettlawinen»; einem Begriff, den Paulcke

(1899) bereits sehr früh einführt. Auffallend ist, dass gruppendurchgängig alle Autoren bereits die heute gültigen, festgelegten Begriffe der «Schneedecke» und «Schicht», teilweise synonym für letztere auch «Lage», verwenden.

## 4.2 Schneebrettlawine

Die Verwendung dieser übergeordneten Leitkategorie (LK C) im Quellenmaterial wird nicht separat ausgewiesen, sie erschliesst sich aus den weiteren Subkategorien LK C1 bis LK C4. Damit werden an dieser Stelle ausschliesslich Merkmale der Schwachschicht dargestellt. In Bezug auf die weiteren Kategorien (LK C5 – C8) sei auf Stössel (2017) verwiesen.

### 4.2.1 Schneedeckenimmanente Prozesse

Leitkategorie (LK C1): «Bruch», «Senkung», «Spannung», «Energie»-(Freisetzung) bei «Störung»

Schneedeckenimmanente Prozesse werden von Reiseführerautoren praktisch nicht erwähnt. Kohl (1851, S. 13) schreibt zwar von regelmässiger «Herstellung und Zerstörung», bleibt damit aber vage und bezieht sich wohl eher auf die äussere Erscheinung der Schneedecke. Von Berlepsch (1862) thematisiert innere Umwandlungen in Bezug auf die Adhäsion zwischen Schneedecke und terrestrischem Untergrund, also nicht innerhalb einer Schneedeckenschicht: Die «launen Lüfte» bzw. deren Wärme würde «die kleinen hohlen Räumchen in den [...] Schneehängen durchdringen», «deckend Kriställchen» lösen und so die «natürlichen Stützen» bzw. den «unmittelbaren Zusammenhang [...] vernichten» (von Berlepsch, 1862, S. 178). Ähnlich argumentiert Osenbrüggen (1864). Die Überlegungen der Reiseführer zu schichtinternen Prozessen sind also marginal, was angesichts eines gering ausgebildeten Schichtverständnisses nicht verwundert. Eine Erwähnung der definierten Leitbegriffe bleibt aus.

Nicht differenzierter sind die frühen Überlegungen in verbauungstechnischen bzw. forstwirtschaftlichen Publikationen. Sie beschränken sich lange auf die adhäsionslösende Wirkung von «Thäuwasser» (Kasthofer, 1818, S. 84 f). Noch 1881 geht Coaz darauf ein und beschreibt nun auch erstmals Setzungsprozesse, allerdings mit Bezug auf die gesamte Schneedecke und nicht eine konkrete innere Schicht: «In ebener Lage bewegt sich die Schneemasse nur in sich selbst durch das Sichsetzen» (Coaz, 1881, S. 22). Ein weiterer wichtiger und früh diskutierter Prozess innerhalb der Schneedecke verfiel die Idee der «Stützen». Mit dem Hinweis, Schnee verliere durch Störung «seine Stütze und geräth in Bewegung», bringt Landolt (1886, S. 113) die Idee in den verbauungstechnischen Diskurs ein. Den Grund für die Störung sieht er wie die späteren Skiratgeber im «Durchschneiden» der Schneedecke durch eine Spur. Nach Marti (1887, S. 299 f) müssten Lawinerverbauungen deshalb versuchen, «die Schneemasse zu stützen» und sie derart «festzuhalten». Ein Kerngedanke, der sich in den folgenden rund vier Jahrzehnten Lawinerverbauung bis zu deren Verwissenschaftlichung durch die Gründung der Eidgenössischen Schnee- und Lawin Kommission 1931 hält. Anders als in der Schweiz entwickelt der Österreicher Pollack – als Geometer an verbauungstechnischen Fragen interessiert – den «Stützen»-Diskurs weiter. Bereits 1906 stellt er fest, dass es in der Schneedecke aufgrund unterschiedlicher Beschaffenheit zu «Spannungen» kommen kann, «welche beim Durchtreten ausgelöst werden» und er erkennt: Es gibt «Kräfte, welche im Schnee vorkommen» und es könnte ihnen in der «Mechanik des Schnees» – also auch in Bezug auf die Lawinengeneese – «eine Rolle zukommen» (Pollack, 1906, S. 31). Doch seine Überlegungen werden – wie auch jene der Skiratgeber – von den Schweizer Forstbeamten und Ingenieuren und damit den zuständigen Behörden des Bundes ignoriert. Alles in allem bestätigt sich damit die marginale bis nichtige Auseinandersetzung insb. der Schweizer Forstpublizisten mit dem Schichtbegriff.

Dabei hätten die verbauungstechnischen Autoren u.a. durch den ab 1890 einsetzenden Wissenschaftsdiskurs auf die Bedeutung schneedeckenimmanenter Prozesse aufmerksam werden können. Denn in Deutschland setzten sich ab den 1890er Jahren, wie oben erwähnt, einige Geographen und Geologen intensiv mit der Schneedecke auseinander. So sah Ratzel die Schichtung der Schneedecke auch als ein Resultat schneedeckenimmanenter Prozesse und sprach von einem «Hinsinken der schwereren Teile nach den [...] Stellen tieferer Lage» (Ratzel, 1889, S. 102). Er erkannte also, dass es innerhalb der Schneedecke Setzungsprozesse gab. Anknüpfend an Tyndall (1860) sah er zudem, dass «innere Ungleichheiten» – konkret bei Lagerung von Reif in der Schneedecke (ebd., S. 203) – zwischen den Schneeschichten Spannungen hervorbrachten, «welche zur Zerreiung des Zusammenhanges [der Schneeschichten] führten» (ebd., S. 131) und schrieb ihnen eine «Hauptursache der Lawinenbildung» (ebd., S. 134) zu, ohne diese Überlegung jedoch weiter auszuführen. Tatsächlich wurden schneedeckenimmanente Prozesse in wissenschaftlichen Artikeln annähernd vierzig Jahre lang nicht wieder aufgegriffen. Sogar Welzenbach bleibt in seiner Dissertation über die Stratigraphie der Schneedecke in Bezug auf C1 vager als frühere Autoren von Skiratgebern bzw. setzt den Fokus anders, wenn er meint, im Abgleitprozess müssten «sicher auch [...] Spannungen [im Zusammenhang mit der Umbildung der Schneeschichten], die bei Störungen [...] plötzlich zur Auslösung kommen», berücksichtigt werden (Welzenbach, 1930, S. 41).

Noch in den stark auf den Sommer ausgerichteten Alpinismusratgebern, etwa bei Zsigmondy (1885) oder Meurer & Rabl (1893) sind schneedeckenimmanente Prozesse und so auch der «Stützen»-Diskurs kein Thema. Skisport und damit der Aufenthalt im winterlichen Gebirge wird erst ab den 1890er Jahren aktuell. Sodann greift Paulcke den «Stützen»-Diskurs bereits in der Erstausgabe seines Ratgebers (1899, S. 88) auf: «Verflachungen am Hang [oder] kleine Terrassen» gewährten «den Schneemassen ausgezeichnete Stützpunkte [...], indem sie die Druckverhältnisse vielfach ändern, sodass der Druck der ganzen Schneemasse nicht einheitlich am Hange der Reibung entgegenwirken kann.» Zwar weist diese Vorstellung keine schichtspezifischen Bezüge auf, aber Paulcke koppelt sie an die Idee eines inneren Zusammenhalts der Schneeschicht, d.h. der Kohäsion. Kälte könne zu inneren Umwandlungen führen, indem «kleine

Eisfäden, welche die Schneeschicht in sich zusammenhielten, durch Contraction [...] spröde werden und reissen» (ebd., S. 89). «Reissen» ist gleichbedeutend mit «Bruch» bzw. «Brechen» und damit es überhaupt dazu kommen kann, bedarf es Spannungen, die Paulcke hier durch den Begriff der «Contraction» kennzeichnet. Ebenfalls berücksichtigt Paulcke den Störungsaspekt. Seine Überlegungen sind zwar schon differenzierter als die vorangegangenen der forstwirtschaftlichen und -ingenieurtechnischen Autoren, doch geht Paulcke noch nicht – wie bspw. Ratzel zehn Jahre zuvor – auf Senkungsprozesse ein. Auch der Aspekt der «Energie»-Freisetzung wird noch nicht aufgegriffen. Interessanterweise stellt Paulcke die dargelegten Überlegungen auch nicht in Zusammenhang mit dem von ihm in derselben Publikation eingeführten «Schneebrett» und den «Schneebrettlawinen». Auch in der zweiten überarbeiteten Auflage sieht er keine entsprechende Verbindung. Er wird aber noch deutlicher im Hinblick auf die Idee, mit einer Skispur würden die schneedeckenimmanenten «Stützen durchschnitten» und empfiehlt seinen Lesern, bei entsprechenden Verhältnissen «die Skier ab[z]uschnallen, damit man möglichst direkt, in gerader Linie über den Hang an- bzw. absteigen kann, um [...] Spuren, welche die Schneemassen quer zum Hang durchschneiden, zu vermeiden» (Paulcke, 1903, S. 138). Wödl (1904, S. 80 f) geht sogar so weit, Skier aufgrund ihrer schnellen und oberflächlichen «Durchschneidung» abzulehnen. Besonders interessant dabei ist seine implizite Idee der Bruchfortsetzung, wenn er anführt, eine Störung der Schneedecke durch Skier könne «auf eine grosse Distanz» (ebd.) wirken. Wödl koppelt diese Überlegung an die Geschwindigkeit einer Skifahrt bzw. den Gedanken, dadurch innert kurzer Zeit grosse Flächen der obersten Schicht «aufzuschneiden». Mehr und mehr präzisiert sich also der «Stützen»-Diskurs in den Skiratgebern und fokussiert dabei explizit die oberste Schicht, aber der Bezug zum Schneebrett bleibt weiterhin vage. Eine Annäherung gelingt von Ficker, der im Gegensatz zur ursprünglichen Schneebrettkonzeption Paulckes die oberste auflagernde Schicht als «nicht windgepresst, sondern angeschmolzen und wieder gefroren» (von Ficker, 1905, S. 19) erachtet. Deshalb erfahre ebendiese oberste Schicht nun im Vergleich zu der – auch hier abweichend zu Paulcke – darunter liegenden aus Pulverschnee «eine Ausdehnung», «das heisst, die obere Schichte wird gewölbeartig über der Unterlage liegen. Der Gewölbedruck bewirkt eine Oberflächenspannung. Löst diese sich an einer Stelle aus, so wird das ganze Gewölbe bersten» (ebd.). Auch Paulcke schwenkt 1908 um bzw. er wird widersprüchlich: Wie von Ficker verortet er die Spannungen und den Setzungsprozess im selben Artikel einmal eindeutig in der obersten, auflagernden Schicht, im sog. «Schneebrett», dann wieder meint er im Hinblick auf Spannungen, diese könnten auch «ziemlich gleichmässig den ganzen Komplex umfassen» (Paulcke, 1908, S. 95).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bis zu diesem Zeitpunkt «Störung», «Spannung», «Bruch» und «Senkung» miteinander und mit der Schneebrettgenese in Bezug gesetzt werden. Allerdings wird primär die oberste Schicht fokussiert, nicht die darunterliegende (Schwach-)Schicht, in der nach heutigem Wissen die eigentlichen bruchinitiierenden Prozesse vor sich gehen (Harvey et al., 2012). Zdarsky klärt diese Frage auch noch nicht, bringt aber neue, weitergedachte Aspekte ein: Wie Paulcke führt er an, Lawinen könnten auch durch «innere Ursachen» ausgelöst werden, namentlich durch «Verdunsten der wichtigsten tektonischen Kraftlinien» (Zdarsky, 1916, S. 11). Zwar dürfte er damit dasselbe wie Paulcke (1899) meinen, als dieser von durch Kontraktion spröde und rissig gewordenen «Eisfäden» spricht. Doch Zdarsky ergänzt, diese Spannungen würden mit Setzungsprozessen und Energiefreierdung – in seinen Worten «freigewordener lebende Kraft» im Sinne einer «Schubkomponente» – einhergehen (ebd.). In diesem Zusammenhang prägt Zdarsky auch den Begriff des «dröhnenden Schnees» (ebd.), auf den er in den Folgejahren immer wieder zurückkommt und der dem heute bekannten Wumm-Geräusch entspricht. Alle Skiratgeber – gut untereinander vernetzt, v.a. Paulcke und Zdarsky werden gelesen, aber teilweise missverstanden – greifen zumindest den Aspekt des Setzens auf, allerdings auf sehr unterschiedlichen Komplexitätsniveaus. Während einige lediglich anführen, der Setzungsprozess benötige zwei bis drei Tage (Hoek, 1920; Hoek 1925; Rutgers, 1920), treiben andere die Diskussion um schneedeckenimmanente Prozesse schrittweise voran. So verfechten Paulcke und seine Rezipienten noch 1922 (S. 92; s. auch Gruber, 1925, S. 11) die Ansicht, das «Brett», d.h. die auflagernde, oberste Schicht strebe bei Störung danach, sich zu setzen, in ihm würden Spannungen ausgelöst. Nicht explizit in Bezug auf Schneebrettlawinen ergänzt Paulcke, oft hätte es unter den «oberflächlichen Verhärtungskrusten lockere[n] zuckerkörnige[n] Schnee, so dass die Krusten hohl aufliegen, bei Belastung einbrechen, und das Abfahren der ganzen Schicht» veranlassen würden (Paulcke, 1922, S. 99). Etwas später formuliert Paulcke (1926, S. 36 f) zurückhaltender, durch innere oder äussere Ursachen bzw. wenn man der Schneedecke «Widerlager» entziehe, könne deren Zusammenhang gestört und so «innerhalb der Schneedecke» – nicht in einer spezifischen Schicht – Spannungen ausgelöst werden. Sein folgendes Beispiel thematisiert erstmals den Bruch in der zweitobersten Schicht, allerdings nicht mit Bezug auf ein konkretes Schneebrett: Unter Belastung könne z.B. «eine unter einer Neuschneedecke liegende dünnere alte Harstdecke [brechen], die hohl über darunter gesetztem Kristallschnee lag» (ebd., S. 37). Zdarsky fokussiert 1929 (S. 21) wieder die oberste Schicht: In dieser herrsche ein «labiles Gleichgewicht, deshalb genügen die geringsten Erschütterungen, um ein Schneebrett zum Absturz zu bringen». Erneut spricht auch der Österreicher von «Zerreissungen» bzw. schlussfolgert, dass diese die definitive Auslösung des Brettes bewirke (ebd., S. 57).

Mit anderen Worten: Zdarsky (1929) expliziert als erster, dass der Initialbruch («Zerreissungen») grundlegend ist. Aber auch er hat damit immer noch die oberste Schicht im Blick, obschon er in derselben Zeit auch sog. «Lasen» propagiert und beschreibt (ebd., S. 93). Gemäss Zdarsky sind darunter «Trennungsf lächen» (ebd., S. 50 f) bzw. «Trennungsschichten» (ebd., S. 94) zwischen den Schneeschichten zu verstehen. Heutige Sekundärquellen spezifizieren Lasen als «Schwachsneeschichten» (Kirchmayr, 2015, S. 113). Dabei ist Zdarsky nicht der erste, der über lawinenbegünstigende Schneeschichten nachdenkt, aber stets wurden diese in früheren Schriften ausschliesslich unter dem Aspekt der mangelnden Adhäsion, d.h. als «Rutschflächen» oder «Gleitflächen» erörtert (Pollack, 1906; Paulcke, 1908; Sprecher,

1910; Zdarsky, 1916; Paulcke, 1922; Paulcke 1926). Bis 1929 spezifiziert jedenfalls niemand deren innere Beschaffenheit. Tatsächlich lässt Zdarsky (1929, S. 95) bei der Beschreibung ebendieser Lasen erkennen, dass auch diese – «kühne Gebäude voller Kammern, Gängen, Zimmern, Sälen, mit zahlreichen Gewölben, Stützen, Pfeilern, Streben, Balken, Pölzungen und Versteifungen» – äusserst fragil sind und leicht «zum gleichzeitigen Bruch» und also zur Lawinenauslösung gebracht werden können. Damit ist Zdarsky der erste, der die bruchinitiierenden Prozesse – neben dem alten Denkmodell in der obersten Schicht – ausdrücklich auch in einer (weiter unten liegenden) Schwachschicht verortet. Als einziger bringt er zudem bis 1929 alle auf Basis des heutigen Forschungsstands definierten Leitbegriffe von C1 explizit in Bezug auf die Schwachschicht ein.

#### 4.2.2 Kohäsion

Leitkategorie (LK C2): «Kohäsion zwischen Schneeteilchen»

Der Verbund unter den Schneeteilchen – deren Kohäsion – bestimmt (neben der Adhäsion) bis zur Verwissenschaftlichung der Lawinkunde ab den 1930er Jahren massgeblich die Vorstellung der Lawinengenese. Es sind Vorstellungen, die mehrheitlich die Staublawine fokussieren und deren Ursprung vermutlich weit vor die ersten entsprechenden Schriften im 19. Jh. zurückreicht. Bereits im Mittelalter und in der Frühen Neuzeit dürften die Menschen in den Bergtälern den Abgang von Staublawinen mit Furcht vor deren gewaltigem Zerstörungspotential wahrgenommen haben. Erklärungen dieser Lawinenform suchten sie wohl in direkt beobachtbaren ähnlichen Phänomenen, etwa wenn der Wind Schnee aufwirbelt und stiebend davonträgt. Reiseführerautoren verweisen jedenfalls Mitte des 19. Jh. auf frühere Darstellungen aus dem 18. Jh. und auf deren tiefe Verwurzelung im Gedankengut der Bergbevölkerung. So berichtet etwa Osenbrüggen (1864, S. 236) von der tradierten Vorstellung des «Hareins», der «Windbraut», deren Geneseerklärung jener von Staublawinen – einem Begriff, der bereits zu Beginn des 19. Jh. ebenfalls verwendet wird – entspricht: Staublawinen entstünden, «wenn auf eine feste, harte Schneedecke grosse Lasten neuen, körnigen, losen Schnees fallen. Dieser hat [...] keinen Halt auf jenem» (ebd., S. 233) und gleitet ab. Die Geschichte mangelnder Kohäsion zwischen den Schneeteilchen bezieht sich also lange ausschliesslich auf Staublawinen (LK C8).

Doch wie sieht es mit der Kohäsion bezüglich Schneebrettlawinen bzw. Schwachschichten aus? Den bis heute verwendeten Begriff «Schneebrett» prägt der Geologe und seit Jugendtagen begeisterte Skifahrer Wilhelm Paulcke (1899, S. 88 f): «Häufig ist auch auf dem Hartschnee eine mehr oder minder dichte Lage ganz feinkörnigen Schnees festgeweht [...] Diese angewehten Schichten möchte ich als Schneebretter bezeichnen, [...] da sie in grossen Schollen, wie riesige flache Bretter abbrechen und abrutschen, wenn man sie, besonders auch beim Skilauf, durch querverlaufende Spuren stört.» Paulcke leitet den Begriff direkt aus der Staublawinengenese ab: Kohäsionsschwacher Schnee wird nun vom Wind nicht mehr einfach weggetragen und geht deshalb als Staublawine ab, wie die tradierten Vorstellungen nahelegen, sondern der Wind presst den verfrachteten Schnee fest auf die harte, glatte Unterlage und lässt ihn dort vermeintlich haften. Innerhalb des vorliegend untersuchten Zeitraums werden Paulcke und seine Rezipienten immer in dieser obersten Schicht kohäsionsarmen, aber nur trügerisch verfestigten Schnees die primär auslösenden Faktoren der Schneebrettlawine verorten. Einige österreichische Autoren sehen das anders. So der bereits erwähnte von Ficker (1905), nach dessen Auffassung es gerade umgekehrt ist: Der kohäsionslose Schnee liegt unter der obersten Schicht, während die aufliegende Schicht auch nicht windgepresst, sondern durch Schmelz- und Gefrierprozesse krustig-hart geworden ist. Noch deutlicher wird der eigentliche Urheber dieser Ideen, Zdarsky: Er bezeichnet Paulckes Schneebrettkonzeption als «haarsträubend» (Zdarsky, 1907, S. 3) und führt an, es sei seine «traurige Pflicht, solche Unrichtigkeiten» aufzudecken. Zdarsky spricht denn auch von «Schneeschildern» anstelle von Schneebrettern, legt das Augenmerk auf die Schicht unter der obersten Lage und hält als erster explizit fest: Diese Schicht ist aufgrund der kohäsionsarmen Beschaffenheit ihrer Schneeteilchen mitinvolviert in die Lawinengenese. In ihr sind die Schneekristalle keinen Verbund miteinander eingegangen. Wird nun die auflagernde, oberste Schicht verletzt, kommt das ganze Gebilde – oberste und darunterliegende Schicht – ins Rutschen (Zdarsky, 1907, S. 3).

Paulcke (1908, S. 93) stellt klar, seine Schneebrettkonzeption würde «teils missverstanden» und verbindet die beiden Konstrukte: Wenn ein Schneeschild nachträglich oberflächlich verfestigt wird, «ruht es ohne festeres Verfrieren, zum Teil mit pulvriger Zwischenlage, auf dem Untergrund, es wird dann ein dem Schneebrett ähnliches [...] Gebilde» (ebd., S. 95). Kohäsionsschwacher Schnee konstituiert demnach nicht nur die oberste Schicht des Schneebrettes – das «Brett» selbst –, er kann auch in der unterlagernden eine Rolle spielen, so Paulcke. In seinen weiteren Arbeiten betont der Karlsruher Ordinarius zunehmend die Härte der Oberfläche: «Meist wird feiner, trockener Pulverschnee auf alter firniger, oder beliebiger anderer, fester Unterlage [...] angeweht. [...] Die Benennung Brett soll die brettartige Konsistenz und die brettartige Auflagerung auf den Untergrund kennzeichnen» (Paulcke, 1908, S. 94). Er legt also den Schwerpunkt wie bislang auf zwei Aspekte: 1. das «Brett», d.h. die oberste Schicht und ihre zwar fest scheinende, aber genuin pulvrige, feinkörnige, trockene – also kohäsionsarme – Beschaffenheit; 2. die mangelnde Adhäsion ebendieses «Brettes» mit der Unterlage. Eindeutig marginalisiert er die unterlagernde Schicht: Sie kann «alter, firniger, oder beliebig anderer, fester» Beschaffenheit sein (ebd.). Paulcke bleibt seiner Schneebrettkonzeption bis 1922 prinzipiell treu. Zdarsky schwankt, indem er 1916 eine Schneebrettauslegung veröffentlicht, die praktisch mit jener Paulckes identisch ist. Paulcke (1922, S. 91) erweitert sein Spektrum der Beschaffenheit der unteren Schicht: Diese könne aus «altem, verfirnten», aber auch «locker [gebliebenem] Schnee» bestehen. Damit thematisiert endlich auch Paulcke mangelnde Kohäsion der unterliegenden Schicht. An anderer Stelle hält er fest, dass sich unter «den oberflächlichen Verhärtungskrusten [oft] lockerer, zuckerkörniger Schnee [ansammle], so dass die Krusten hohl aufliegen, bei Belastung einbrechen und das Abfahren der ganzen Schicht veranlassen» würden (ebd., S. 98). Später widerspricht Paulcke (1926) sich selbst,

hält aber grundsätzlich in Bezug auf die unterlagernde Schicht an mangelnder Adhäsion fest. Bereichernd ist in dieser Zeit insb. das von Zdarsky eingebrachte Konzept der «Lasen», worunter er (Schwach-)Schichten versteht, welche nicht nur die Adhäsion zwischen den Lagen erschweren, sondern die aufgrund ihrer kohäsionsschwachen Beschaffenheit auch in sich selbst gefährlich sind. Er beschreibt fünf spezifische Schneearten, aus welchen sich solche «Trennungsschichten» zusammensetzen können, nämlich «Flimmerschnee», «Nadelschnee», «Kugel- oder Griesschnee», «Sternschnee» sowie «Flaumschnee» (Zdarsky, 1929, S. 50, 93), wobei sich die Schneearten durch ihre «mehlfeinen Eiskristalle» auszeichneten. Diese «feine, mehligte Schichte [...] kann verhindern, dass ein neuerlicher Wolkenschneefall sich mit dem alten Schnee verbindet und so leicht zu Schichtlawinen den Grund legt» (ebd.). Die Gefahr dieser leicht verfrachtbaren Schneearten, so Zdarsky, liege in ihrer marginalen bis nicht vorhandenen «inneren Festigkeit» (ebd., S. 95). Diese bewirke, dass sie sich «nicht [...] lagerhaft verbinden» könnten, gleichzeitig aber auch innere Spannungen aufbauten, welche leicht «zum gleichzeitigen Bruch» und damit zur Lawinenauslösung führen würden (ebd.).

Hiermit dürfte Zdarsky 1929 sehr wahrscheinlich als erster über Kohäsion der Schneeteilchen innerhalb einer explizit definierten Schwachschicht sprechen, was vor dem Hintergrund heutigen lawinenkundlichen Wissens bahnbrechend ist. Es kann aber auch sein, dass Paulcke ihm zuvorgekommen ist, denn Welzenbach erwähnt in seiner Dissertation, Paulcke habe eine Schneeart spezifiziert, die in «besonders hohem Masse geeignet ist, Lawinen zu bedingen. Dieser Schnee besteht aus luftfreien Eiskristallen, die eine ausserordentlich hohe Beweglichkeit gegeneinander aufweisen» (Welzenbach, 1930, S. 41), weshalb sie Paulcke «als Schwimmschnee bezeichnet» habe; eine Schneeart, welcher «für die Lawinenfrage [...] insofern eine Rolle spielen [dürfte], als die leichtbeweglichen Schneekristalle die Reibung derart vermindern können, dass der darüber lastende Schneekomplex als Lawine abgleiten muss» (ebd.).

Um ca. 1930 hatten also beide kontrahierenden «Skipäpste» (Nauright & Parrish, 2012, S. 432) – Paulcke wie Zdarsky – erkannt, dass mangelnde Kohäsion in einer unterlagernden Schicht eine nicht zu unterschätzende Rolle in der Lawinengesehe spielen dürfte. Ob sie ihre Überlegungen dabei auch schon explizit auf Schneebrettlawinen bezogen, kann nicht eindeutig belegt werden, dürfte aber angesichts v.a. von Zdarskys frühen Schneeschildkonzeptionen naheliegend sein. Die Quellenanalyse bestätigt: Mangelnde Kohäsion zwischen den Schneeteilchen wird von den historischen Autoren insb. mit dem Gedanken mangelnder Adhäsion zu einer benachbarten Lage konnotiert. Oder anders formuliert: Was in sich keinen Verbund findet, kann sich auch nicht mit anderem verbinden. Mangelnde Kohäsion in Bezug auf Schneebrettlawinen – oder gar präziser in deren Schwachschichten – wird ausschliesslich von der Ratgeber-Community diskutiert und später durch die Wissenschaft fortgeführt. Auffallend ist, dass die Publizisten von Lawinenverbauungsartikeln – namentlich in der Schweiz – auch diesen Diskurs bis anfangs der 1930er Jahre vollends ignorieren. Bis zur Verwissenschaftlichung der Lawinenkunde in der Schweiz bleiben sie isoliert in ihrem eigenen, auf tradierten Vorstellungen – kohäsionsschwacher Schnee auf harter, glatter Unterlage – basierenden Diskurs verhaftet. Noch 1929 meint Fankhauser, eidgenössischer Oberforstinspektor und Ehrendoktor der ETH Zürich, Adhäsion und Kohäsion seien die zwei charakteristischen Merkmale der beiden «wichtigsten Arten von Lawinen»: Entweder habe eine Schneemasse ungenügende Adhäsion und gehe deshalb als «nasse Lawine» ab oder sie weise geringe Kohäsion auf und evoziere deshalb eine «trockene Lawine» (Fankhauser, 1929, S. 12). Und – aufschlussreich auch für das Resümee des Schichtverständnisses innerhalb dieser Community: «Ob sie [die Lawine] sich vom nackten Boden oder von einer Schicht alten, verharschten Schnees ablösen, bleibt für ihre Eigenart ohne Belang» (ebd.).

### 4.2.3 Kristallgrösse und Hohlräume

Leitkategorie (LK C3): «Grösse der Kristalle», «(grosse) Hohlräume»

Wenngleich die unterschiedliche Beschaffenheit von Schnee schon zu Beginn des 19. Jh. erkannt ist, sind die Grösse der Kristalle oder allfällige Hohlräume dazwischen im gesamten 19. Jh. weder in Reiseführern noch forstwissenschaftlichen Schriften expliziter Gegenstand. Das Thema wird zwar in anderen Zusammenhängen angedeutet, wenn etwa bei der Staublawinengesehe von «feinkörnig» die Rede und damit gemeint ist, dass der Schnee aus feinen, d.h. kleinen Kristallkörnern besteht. 1910 spricht Coaz von «kleinkörnigem, sich locker lagerndem Schnee» wobei letzteres die Existenz von Hohlräumen implizieren könnte. Der Hinweis auf «lockere Lagerung» findet sich i.Ü. schon früh (Kasthofer, 1818) und während des ganzen 19. Jahrhunderts. Seltener als über feinkörnigen Schnee wird über die Kristallgrösse älteren Schnees spekuliert. Von Berlepsch (1862, S. 178) weist in seinem Reiseführer darauf hin, alter Schnee sei dichter, habe also eine «viel kompaktere, körperfestere Gestalt» angenommen, was einen Mangel an Hohlräumen impliziert. Hinter der Annahme grösserer Kompaktheit – von den historischen Autoren häufig als «Zusammensinterung» bezeichnet – steht die Vorstellung eines Zusammenschmelzens der Kristalle durch höhere Temperaturen und verweist auf die heute bekannte «abbauende Umwandlung» (Harvey et al., 2012). Noch bis anfangs 1930 werden Publikationen in Reiseführern und zu Lawinenverbauungen ausschliesslich mit den Vorstellungen «leicht, zusammenhanglos» oder «zusammengesintert», aber ohne Bezug zu schichtbasierten Lawinenkonzepten, argumentieren.

In der wissenschaftlichen Community erwähnt Ratzel (1889, S. 134), dass sich innerhalb der Schneedecke «lockere und dichtere Partien mit vollständigen [...] Hohlräumen abwechseln», bleibt damit aber wenig konkret. Deutlicher sind seine Ausführungen zu Reif: Reifkristalle – nach heutigem Wissensstand Formationen aufbauender Umwandlung (Harvey et al., 2012) – bewirken Spannungen innerhalb der Schneedecke (Ratzel, 1889, S. 131). Ohne es zu wissen, benennt Ratzel damit als erster eine mögliche Kristallform innerhalb von Schwachschichten. Doch die Schneeforschung steckt in den Anfängen und Lawinen scheinen ihr nicht prioritär. Sprecher (1902, S. 228) unterscheidet Schnee von «dicht homogener» und «knollig-gelockerter» Beschaffenheit und legt sein Vier-Schichten-Modell vor. Mit der

Reihenfolge Eis, Firn, zusammengesinterter und zuoberst praktisch in ursprünglicher Kristallform erhaltener Neuschnee deutet er implizit eine entsprechende Volumenerweiterung nach oben an. Später führt Sprecher (1912b) Dichte- und Gewichtsuntersuchungen spezifischer Schneelagen durch, zieht aber keine Rückschlüsse auf Kristallgrösse oder Hohlräume. Bis zu Welzenbachs Dissertation 1930 dürften dies die einzigen veröffentlichten wissenschaftlichen Studien zur Schneebeschaffenheit bzw. zu Kristallgrössen und Hohlräumen bleiben. Welzenbach (1930, S. 41) selbst erwähnt zwar, wie oben ausgeführt, die spezielle Schneeart des «Schwimmschnees» und spezifiziert diese als «duftfreie Eiskristalle, die eine ausserordentlich hohe Beweglichkeit gegeneinander aufweisen», macht aber keine expliziten Aussagen zu Korngrösse oder Hohlräumen.

Paulckes ursprüngliche Schneebrett-Konzeption geht einher mit Aussagen zur Kristallgrösse, allerdings ausschliesslich in Bezug auf die auflagernde Schicht. Deren Beschaffenheit sei «ganz feinkörnig» und würde sich deutlich von «grobkörnigem, altem» (Paulcke, 1899, S. 90 f) Schnee unterscheiden. Entgegen der tradierten Vorstellung, Schnee werde mit der Dauer seiner Lagerung kompakter und dichter, geht der Autor davon aus, dass Schnee allmählich auch grob- und somit grosskörniger werden kann; eine Sichtweise, die in nachfolgenden Ratgeberwerken, etwa von Rutgers (1920, S. 115 f) bestätigt und mit der Bemerkung ergänzt wird, der Zusammenhang der immer grösseren Schneekörner werde «durch die entstehenden Zwischenräume [zusehends] gelockert». Paulckes Rezipienten folgen dem Primat der obersten, auflagernden «Schneeschild, von dichtem, feinkörnigem Gefüge» (Paulcke, 1908, S. 94). Sogar sein Kontrahent Zdarsky (1916) übernimmt nach anfänglichen Widersprüchen wenigstens diesen Teil des Paulckeschen Schneebrettes und liefert dazu (1929, S. 21) deren bislang detaillierteste Beschreibung: Aus «vom Sturm zerbrochenen, zerriebenen, [...] mehlstaubartigen Schneekristallen» bestehe diese Schicht, sie sei in sich «festgehämmert» und würde entsprechend «keine Hohlräume» bilden.

Der einseitige Fokus auf die oberste auflagernde Schicht beginnt sich ab ca. 1905 zu verschieben, indem ihn der Österreicher von Ficker auf die unterlagernde Schicht lenkt. 1907 verfiert auch Zdarsky diese Konzeption und bezeichnet sie als Schneeschild. Was folgt, ist ein langjähriger Diskurs mit immer wieder neuen Kombinationen der beiden Konzepte «Schneebrett» und «Schneeschild». Stets thematisiert wird in diesem – eingebracht durch die «Schneeschild»-Idee – die Beschaffenheit der unterlagernden Schicht. Sie wird als «pulverig» (von Ficker, 1905, S. 19), «lose gepackt» (Hoek & Richardson, 1908, S. 184) und «locker» (Hoek, 1925, S. 201) beschrieben. Interessant ist schliesslich die neue und erweiterte Schneebretterklärung von Paulcke (1922, S. 91): Das Brett kann nun «bisweilen [...] auch] auf [...] locker bleibendem Schnee [...] festgedrückt» sein. Wenngleich der Karlsruher weiterhin auf Basis tradierter Erklärungen und fokussiert auf das eigentliche «Brett» – die oberste, feinkörnige festgepresste Schicht – argumentiert, dürfte er sich unter dem Einfluss anderer Darstellungen zusehends vertieft der Beschaffenheit der unterlagernden Schicht zuwenden. 1930 wird Welzenbach jedenfalls – wie bereits ausgeführt – im Zusammenhang mit «Schwimmschnee» auf seinen Doktorvater Paulcke verweisen. Ein Jahr zuvor veröffentlicht Zdarsky (1929, S. 50) im Zusammenhang mit der «Lase»-Idee eine Sammlung fünf verschiedener Schwachschicht-Schneearten. Die gewählten Bezeichnungen (Flimmer-, Nadel-, Kugel-/Gries-, Stern- und Flaumschnee) implizieren teilweise die Form der Schneekristalle: eher länglich oder kugelig, d.h. tendenziell grössere Kristallformen, die implizit auf aufbauende Metamorphose hinweisen. Doch Zdarsky begnügt sich nicht mit der Benennung, er weiss auch um die schichtinnere Beschaffenheit: Diese Schneearten seien «leicht durchstossbar» (ebd., S. 64), gemäss dem Autor ein mit dem Skistock unschwer selbst durchführbarer Test und fast sicherer Hinweis auf «grosse Lawinengefahr» (ebd.). Die leichte Durchstossbarkeit impliziert Hohlräume zwischen den tendenziell grossen Kristallen, was Zdarsky mit seinem Hinweis auf «kühne Gebäude voller Kammern, Gängen, Zimmern, Sälen» (ebd., S. 95) bestätigt. Anfangs der 1930er Jahre dürfte somit wohl kaum jemand die Eigenschaften von Schwachschichten – und damit auch ihrer Kristalle und ihres Aufbaus – so gut expliziert haben wie Zdarsky.

#### 4.2.4 Adhäsion

Leitkategorie (LK C4): «Adhäsion zwischen den Schneelagen»

Adhäsion bezieht sich auf den Verbund zweier Teile an deren Grenzschichten, eine Frage, die neben jener der Kohäsion und oft mit dieser kombiniert die Lawinengenese-Erklärungen des 19. Jh. durchwirkt. Der Diskurs darüber lässt sich in vier Kategorien gliedern: 1) Allgemeine Aussagen zu Adhäsion, 2) Adhäsion zwischen terrestrischem Untergrund und auflagernder Schneedecke, 3) Adhäsion zwischen Schichten innerhalb der Schneedecke, 4) Adhäsion im Zusammenhang mit Schwachschichten.

- 1) Starke Adhäsion wird mit kalten Temperaturen verbunden. So meint der Reiseführer Kohl schon 1851 (S. 36), «[k]aum hört die Sonne [...] auf, einen Berg zu bescheinen, so steht [...] Alles in dem noch eben so bewegten Gebiete des Schnees still. Alle den Einsturz drohenden Schneegehänge werden [...] wieder an den Felsen befestigt, alles Erweichte erstarrt, alle [...] von der Sonne in Bewegung gesetzten Wasser- und Schneeeriesel hören auf, und die Lawinen [...] scheinen wie an die Felsen genagelt». Zahlreich und durchgängig finden sich im 19. Jh. in Reiseführern, verbauungstechnischen und wissenschaftlichen Publikationen solche Formulierungen. Oberforstinspektor Coaz (1881, S. 22) stellt fest, sei der Schnee dem Boden angefroren, «so kann begreiflicherweise [...] kein Gleiten [...] stattfinden». Mit dem gleichen Argument zeigt Landolt (1886, S. 119), auf welchen Grundprämissen die lawinenverbauungstechnischen Überlegungen bis anfangs der 1930er Jahre basieren: Unter Lawinenverhinderung wird verstanden, «den Schnee an der Stelle festzuhalten, auf die er gefallen ist». Adhäsion wird also stark gewichtet, auch von der Wissenschaft. So meint der Geologe Albert Heim (1888, S. 20), «[e]ine geringe Vermehrung

- der Reibung des Schnees am Untergrund in den Sammelgebieten genügt, um die Bewegung überhaupt nicht entstehen zu lassen». Einige Jahre später wird er im «Losfrieren [...] vom] Untergrunde [...] die Ursache des Absturzes» der Gletscherlawine am Altels sehen (Heim, 1896, S. 55).
- 2) Die dargelegten Vorstellungen verweisen auf den Zusammenhang von Schneedecke und terrestrischem Untergrund. Darauf gründen die Vorstellungen zu «Grundlawinen» (Kasthofer, 1818; Sommer, 1828), einer tradierten, vermutlich mindestens bis ins 18. Jh. zurückreichenden Bezeichnung für Schneerutsche, die bis auf den Boden abgehen und die man heute als Gleitschneelawinen zusammenfasst (Schweizer et al., 2013). Lange thematisieren Reiseführer, forstwirtschaftlich-verbauungstechnische und wissenschaftliche Schriften die Adhäsionsfrage primär mit Fokus auf diese Lawinenart und somit auf dem Verbund zwischen terrestrischem Untergrund und Schneedecke, ohne spezifischen Schichtbezug. Und obschon die meisten Ratgeberautoren schon um 1900 erkennen, dass «Grundlawinen» Tourenfahrern kaum gefährlich werden können, werden die entsprechenden Genesvorstellungen weiterhin rezipiert. Zahlreiche Vorstellungen zeugen von der langewährenden, veralteten Ansicht, diese Lawinen seien nebst den kohäsionsmangelbasierten Staublawinen das grosse Übel. Und auch letztere erklärt man häufig nicht nur durch Kohäsionsschwäche, sondern auch mangelnde Adhäsion an der Unterlage. Teilweise werden die Überlegungen widersprüchlich-kontrovers diskutiert. Heim etwa vertritt wie durchgängig alle Autoren im 19. Jh. (u.a. Kasthofer, 1818) die Überzeugung, «Planggen» sollten nicht geschnitten werden, die längeren Grashalme «können den Schnee [...] festhalten» (Heim, 1888, S. 19). Dies sehen verschiedene Skiratgeber gerade umgekehrt. Paulcke (1903, S. 131) bspw. begrüsst regelmässiges Schneiden der Almmatten, da die zurückbleibenden Stoppeln dem Schnee «kleine Haltepunkte» gewährten, im Gegensatz zu langem, ungeschnittenem und daher rutschigem Gras. Konsens herrscht hingegen über die Jahrzehnte und Gruppen hinweg darüber, dass geschichtete Gesteine oder Hänge mit «mehr Quell- und Sickerwasser» (Coaz, 1881, S. 27) das Abrutschen des Schnees begünstigen. Der terrestrische Untergrund ist also per se, d.h. aufgrund seiner Beschaffenheit schon schlüpfrig und glatt oder aber er wird es durch Wasser. Mangelnde Adhäsion – neben und in Kombination mit mangelnder Kohäsion –, das grosse Thema des 19. Jh., prägt bis um 1930 massgeblich und gruppendurchgängig die Vorstellungen, weshalb Lawinen abgleiten. Die Skiratgeber und einige Wissenschaftler entwickeln ab der Jahrhundertwende basierend darauf neue, schichtbezogene Konzepte, die allerdings von den politisch und finanziell potenten Akteuren, zumindest in der Schweiz, unbeachtet bleiben. Just deshalb, da man in den besagten Kreisen keinen Unterschied sehen will, ob eine Lawine bis zum Grund abgeht oder auf einer unterliegenden Schneeschicht.
- 3) Erste vage Vorstellungen zur Adhäsion zwischen Schneeschichten bestehen schon vor der Jahrhundertwende. Unschärf ist etwa die Feststellung von Roeder & von Tschärner (1838, S. 243): «Dabei geschieht es [...], dass eine Schneeschicht über die andere hinweggleitscht, bald auch, dass das ganze Schneelager bis auf den Grund in Bewegung geräth.» Es scheint naheliegend, von dieser Beobachtung auf Adhäsionsmangel zu folgern. Einen deutlicheren, aber immer noch impliziten Schichtzusammenhang erkennt von Berlepsch (1862, S. 173), wenn er schreibt, dass Schnee auch auf «sehr glatter Unterlage alten, obenher vereisten Firnes [...] durch einen Windstoss ins Gleiten geräth [...] und so [...] herabfährt». Coaz (1881, S. 43f.) fasst diese Überlegungen zur Lage der Gleitfläche unter dem Begriff der «Oberlawinen» und wird in den Folgejahren – nicht nur von seinen Forstkollegen – fleissig rezipiert. Auch in wissenschaftlichen Artikeln findet sich das Thema in dieser Zeit (u.a. Heim, 1885, S. 27), aber es bleibt bei den wenigen tradierten Vorstellungen. Pollack (1906, S. 32) spricht schliesslich von «Rutschflächenbildung» durch Druckwirkung innerhalb der Schneedecke. Später konnotiert Sprecher (1912b, S. 7) mangelnde Adhäsion ebenfalls mit «Rutschflächen» und hält fest: Schneeschichten sind oft «durch eine oder mehrere glatte und harte Deckkrusten [...] durchsetzt [...]». Diese Krusten bilden für alle darüberliegenden Schneeschichten eine günstige Rutschfläche». Ähnlich klingt auch Welzenbach, wenn er betr. des Einflusses der Schneeschichtung auf die Lawinenbildung von zwei Genesmechanismen ausgeht, die beide auf mangelnder Adhäsion beruhen. Bei «Feuchtschneelawinen» bewirke Wasser die Umwandlung einer Lage in eine regelrechte «Schmierschicht, die das Abgleiten der darüber liegenden Schichtkomplexe fördert» (Welzenbach, 1930, S. 39). Hingegen bei «Trockenschneelawinen» lagere «trockener, normal sedimentierter Lockerschnee oder umgelagerter (angewehter) Schnee auf glatter Schmelz- oder Windharstschicht ohne mit der Unterlage nennenswerte Verbindung eingegangen zu haben. Bei Störungen gleiten die Schneeschichten [...] ab» (ebd.). Die Denkweise in Bezug auf Adhäsion zwischen den Schichten lautet bis ca. 1930 also: Auf einer nassen, schmierigen oder harten, glatten Unterlage vermag eine darüber liegende Schneeschicht nicht ausreichend zu haften, deshalb geht sie als Lawine ab.
- Die Skiratgeberautoren stimmen zunächst mit diesen Überlegungen überein, so etwa Meurer & Rabl (1893, S. 165): «Am lawinengefährlichsten ist es dort, wo Neuschnee auf altem, hartem Schnee oder gar auf Eis lagert.» Paulcke (1899) wird konkreter, indem er mit dem «Schneebrett» eine spezifische Schicht bislang unbeachteter Beschaffenheit einbringt, in Bezug auf Adhäsion aber nicht von früheren Konzepten abweicht. Denn die unterliegende Schicht sieht auch er nach wie vor ausschliesslich unter dem Adhäsionsaspekt: «[O]hne festeres Verfrühen, zum Teil mit pulveriger Zwischenlage» liege ein solches Brett dann «auf dem Untergrund» (Paulcke, 1908, S. 95). Dabei muss die unterliegende Schicht aus adhäsionsschwachem Material – hart, glatt oder pulvrig, jedenfalls aber schlüpfrig – bestehen. Paulcke (1926, S. 28, 31) bestätigt diesen Standpunkt in einer Gesamtdarstellung der «bisherigen [...] Untersuchungsergebnisse», wiederum herausgegeben in Ratgeberform. Grosse Lawinengefahr sieht er «bei mangelnder Verfrühen der Schneelagen miteinander (fehlender festerer Verband der Lagen)». Wie oben erwähnt, übernimmt Zdarsky ab 1916 im Wesentlichen Paulckes Darstellung. Auch er sieht deshalb zwischen dem «Brett» und der unterlagernden Schicht «keine Kornverbindung» (Zdarsky, 1929, S. 21) und betont – wie sein Kontrahent – den Aspekt mangelnder Adhäsion.

- 4) Kommen diese historischen Gleit- oder Rutschflächen bereits dem Konzept der Schwachschichten nahe? Paulcke und Kollegen verorteten und untersuchten sämtliche oben bereits angeführte Merkmale einer Schwachschicht (C1-C3) in der obersten, auflagernden Schicht; in diesem Sinne dürfte diese für die historischen Akteure eine Schwachschicht darstellen. Zdarskys «Schneeschild» von 1907 verweist hingegen auf die unterlagernde Schicht, obwohl der Österreicher in den Folgejahren Paulckes Konzeption übernimmt. Dennoch verfolgt Zdarsky seinen ursprünglichen Gedanken – die Relevanz der unterlagernden Schicht – weiter und stellt 1929 fünf Schneearten vor, die seines Erachtens Schwachschichten konstituieren. Er hat in ihnen die entsprechenden drei Merkmale (C1-C3) untersucht und sieht durch die Ergebnisse eine erhöhte Lawinengefahr bestätigt. Diesbezüglich stellt sich die Frage, ob und inwiefern er auch Adhäsion der Lasen diskutiert. Tatsächlich bezeichnet Zdarsky (1929, S. 50f.) sie als «Trennungsflächen» und schlussfolgert, ebendiese Schichten könnten sich «nicht [...] lagerhaft verbinden» (ebd., S. 95), was mit «plötzlichen Schichtübergängen» (ebd., S. 64) einhergehe. Zdarsky erkennt 1929 also alle vier definierten Merkmale von Schwachschichten (C1-C4). Welzenbach publiziert 1930 die dargelegten zwei schichtbasierten Genesekonzeptionen, bei denen der Adhäsionsaspekt zentral ist. Doch in den unterlagernden Schichten werden die weiteren, heute definierten Merkmale von Schwachschichten (C1-C3) nicht untersucht, da primär die oberste Schicht – das «Brett» – im Fokus steht. In empirischen Studien zwischen 1926 und 1928 stossen Paulcke und Welzenbach allerdings auf eine neue Schneesorte, die sie aufgrund der hohen Beweglichkeit bzw. mangelnden Kohäsion (C2) der umgewandelten vergrösserten Kristalle und entsprechender Hohlräume (C3) als «Schwimmschnee» bezeichnen, ein Begriff, der heute häufig synonym mit Schwachschnee verwendet wird. Auch wenn dazu Untersuchungen zu schichtimmanenten schneephysikalischen Prozessen (C1), wie Zdarsky sie in seinen «Lasen» ausführlich nachweist, fehlen, können die beiden Autoren der neuen Schneesorte verminderte Adhäsion (C4) und damit ein drittes, heute anerkanntes Merkmal von Schwachschichten eindeutig zusprechen: «Für die Lawinfrage dürfte dieser Schwimmschnee insoferne eine Rolle spielen, als die leichtbeweglichen Schneekristalle die Reibung derart vermindern können, dass der darüber lastende Schneekomplex als Lawine abgleiten muss. Es wird also [...] eine ausgesprochene Unstetigkeitsebene erzeugt, die die Lawinenbildung begünstigt. [...] Eine Verfrischung des Schnees [...] findet demnach [...] nur in seltenen Fällen statt» (Welzenbach, 1930, S. 42). Somit haben Zdarsky wie Paulcke – und damit die ratgeberdiskursbestimmenden Exponenten – bis zur institutionalisierten Verwissenschaftlichung der Lawinenkunde die Merkmale von Schwachschichten – und insb. auch den Aspekt der Adhäsion – bereits sehr gut erkannt. Was jedoch fehlte, war die Übertragung dieser Erkenntnisse auf ihre neuen – auf tradierten Vorstellungen basierenden – spezifischen Konzeptionen, indem sie die Aspekte richtig zueinander in Beziehung setzten.

## 5 Potentiale für die Vermittlung von NOS

Mit Blick auf die in Kapitel 2 erwähnten NOS-Aspekte stellt sich die Frage, welche davon Erklärungen für den insb. von Paulcke und Zdarsky erreichten Erkenntnisstand in der Lawinenkunde um 1930 liefern. Dabei lassen sich eindeutig begünstigende und hemmende Faktoren für die entsprechende Entwicklung des Lawinenwissens zwischen 1820 und 1930 ausmachen.

### 5.1 Begünstigende Faktoren für die Wissensentstehung

Aufschluss über begünstigende Faktoren liefern zunächst die Motive der vier untersuchten Autorengruppen. Diese differierten in ihren Intentionen deutlich und waren entsprechend unterschiedlich involviert:

- Die Reiseführer bewegten sich kaum im alpinen Gelände, potentielle Lawinengebiete besuchten sie nie.
- Verbauungstechnische Autoren suchten Abrissgebiete von Lawinen höchstens im Sommer auf.
- Die Wissenschaftler interessierten sich zunächst nicht für das Thema, nach der Jahrhundertwende ausschliesslich im glaziologischen Kontext, weshalb ebenfalls keine entsprechenden Begehungen stattfanden. Erst mit Welzenbach – unter der Betreuung Paulckes – agierte ab Mitte der 1920er Jahre auch die Wissenschaft durch Feldforschung direkt im Gelände und generierte, v.a. auch dank Experimenten, relativ schnell beachtliche Erkenntnisse. So begründete sich damals, rund fünf Jahre vor den Entwicklungen in der Schweiz, die moderne Lawinenwissenschaft, allerdings auf Grundlage eines über 20-jährigen intensiven Ratgeberdiskurses.
- Die Alpin- und Skiratgeber hingegen waren selbst Skifahrer und somit im potentiell gefährlichen Gelände unterwegs. Entsprechend konnten sie vor Ort Beobachtungen und Vergleiche zwischen unterschiedlichen Schneesituationen anstellen.

Diese starke persönliche Betroffenheit der letztgenannten Gruppe lässt sich am deutlichsten an den zwei diskursbestimmenden Publizisten Paulcke und Zdarsky aufzeigen. Der Deutsche Wilhelm Paulcke (1873-1949) studierte Zoologie, Botanik und Geologie und war von 1906 bis 1935 Professor für Geologie und Mineralogie an der Technischen Hochschule Karlsruhe. Der Österreicher Mathias Zdarsky (1856-1940) war ursprünglich Lehrer und studierte dann Malerei, Bildhauerei und Technik und betätigte sich als Erfinder. Beide gelten als Pioniere des alpinen Skilaufs, d.h. sie propagierten ihren je eigenen Skistil. Diese Kombination von Sportaktivität und naturwissenschaftlichem Bildungs-

hintergrund dürfte annäherungsweise die hohe Lawinenaffinität der beiden Protagonisten erklären. Hinzu kamen ausgeprägte Kreativität und Beobachtungsgabe, die ebenfalls wesentlich zu ihrem differenzierten Wissensstand beigetragen haben dürften. Weitere soziale und kulturelle Rahmungen erwiesen sich zudem als förderlich:

- Der Erste Weltkrieg beeinflusste die lawinenkundliche Wissensentwicklung stark. Paulcke und Zdarsky agierten als militärische Lawinenexperten, wobei sie u.a. künstlich Lawinen auslösten. Im Gegensatz zu privaten, in der Routenwahl eher flexiblen Skitouren, verlangten militärisch-strategische Aktionen mit der Verschiebung Hunderter von Soldaten nach solchen Massnahmen. Die beiden führenden Ratgeber-Lawinenkundler beschäftigten sich also in unterschiedlichen Kontexten und auf vielfältige Weise mit Phänomenen der Lawinenbildung. Der Erste Weltkrieg dürfte ihre Involvierung und persönliche Betroffenheit weiter erhöht haben, zumal die Alpen damals einen strategisch wichtigen Kriegsschauplatz darstellten. Zdarsky wurde 1916 selbst von einer Lawine verschüttet und überlebte nur schwer verletzt. Beide Autoren dürften zudem erlebt haben, wie Kameraden durch Lawinen umkamen. «Gefährlicher als die Italiener war das winterliche Gebirge», hält Zdarsky (1929, S. 3) rückblickend fest. Für Paulcke und vor allem Zdarsky war dies ein zusätzlicher Ansporn, Schichten und die ihnen immanenten lawinenauslösenden Prozesse weiter und vertiefter zu untersuchen.
- Der Erste Weltkrieg zeigte aber auch in anderer Hinsicht Einfluss. Mit dem um 1890 aufkommenden Skifahren im Alpenraum hätte sich zwar der Bedarf nach einem besseren Lawinenverständnis aufgedrängt. Aber erst die Kriegssituation machte breiteren Gesellschaftskreisen die Relevanz von Lawinenwissen bewusst und entsprechende Studien wurden vermehrt finanziell gefördert. Skipatrouillen und -meldeboten hatten sich im Krieg äusserst bewährt. Skiläufer galten schon vorher als «sicherste und in den meisten Fällen auch [...] rascheste Uebermittler von Befehlen und Meldungen» (Egli, 1912, S. 8). Viele Soldaten erhielten deshalb Skiunterricht. Nach 1918 entwickelte sich alpines Skifahren u.a. aufgrund der vorgängigen Verbreitung im Krieg zu einer Massensportbewegung (Grupp, 2008) und verdrängte im gesamten Alpenraum die bislang beliebteren nordischen Disziplinen (Amstutz, 2010). Entsprechend wurde die Lawinthematik nach Kriegsende für eine breite Masse relevant. Die lange auf Sommeralpinismus beschränkten Alpenclubs erkannten die Entwicklung. So erhielt Paulcke Mitte der 1920er Jahre vom Deutsch-Österreichischen Alpenclub finanzielle Mittel für Lawinenstudien, die er für den Ausbau der Feldforschung einsetzte und experimentelle Studien in sog. «Naturlaboratorien» anstellte (Welzenbach, 1930, S. 8). Profilgrabungen und Färbungsversuche zum Nachweis von Wasserbewegungen gaben u.a. neue Hinweise auf die Lawinenauslösung, die Welzenbach (1930, S. 10) in zwei verschiedenen Grundtypen (Feuchtschnee- und Trockenschneelawinengese) fasste. Im Rahmen dieser Feldforschung stiessen die beiden Deutschen auch auf «Schwimm Schnee».
- Die persönliche Beziehung von Zdarsky und Paulcke konstituiert einen weiteren wichtigen soziokulturellen Aspekt, jenen des Wettbewerbs, der Konkurrenz, der Herausforderung. Beide waren Kontrahenten, nicht nur hinsichtlich der von ihnen propagierten Skistile und -ausrüstung, sondern auch in Bezug auf ihre Lawinenkonzeptionen. Sie lasen sich gegenseitig, widersprachen sich durch alternative Konzeptionen (Schneebrett-Schneeschild-Disput) und forderten einander kognitiv heraus. Ihre gegenseitige Konkurrenz katalysierte ihren Wissenseifer und trieb sie an, die Thematik immer weiter auszudifferenzieren und neue, bislang unbearbeitete Themenfelder anzugehen. Ihre Rezipienten – Anhänger zweier divergierender Schulen – folgten diesem Disput. Sie vermengten die Inhalte, unwillentlich oder aus Überzeugung, und forderten damit wiederum Zdarsky und Paulcke zu neuen Überlegungen auf. So zeigte insb. der frühe Ratgeberdiskurs der 1900er Jahre eine hohe Aktivität und faszinierende Virulenz, einen gegenseitig befruchtenden Ideenaustausch, der neue Konzepte hinterfragte und durch fortwährende Fremd- und Selbstprüfung immer stärker präzisierete. Dieser Diskurs fand nicht nur länderübergreifend und interdisziplinär, sondern auch gruppenübergreifend statt. Tradierte Ideen bildeten die Basis für neue, durch Transfer, Wissenskombination und -ergänzung entwickelte Konzeptionen. Grundprämisse war das Vertrauen in die Veränderbarkeit von Wissen.

## 5.2 Hemmende Faktoren für die Wissensentstehung

Das Gegenteil eines fruchtbaren Diskurses, wie ihn die Skiratgeber betrieben, zeigen die verbauungstechnischen Publizisten. Stagnation zeichnet ihre lawinengenetischen Ausführungen aus. Bei den Verfassern handelte es sich vorwiegend um Absolventen eines Forstwissenschaftsstudiums, wie es das Polytechnikum Zürich (später ETH) seit seiner Gründung 1855 anbot. Vorlesungen über Lawinenverbauungstechniken waren Teil der forstwissenschaftlichen Lehre (Achermann, 2009). Der vermittelte Wissenskanon legitimierte den Status als anerkannte Lawinenexperten, wodurch sie politischen wie breitengesellschaftlichen Einfluss und entsprechende finanzielle Handlungsmöglichkeiten erhielten. Sie bestimmten den Diskurs und das Allgemeinwissen über Lawinen völlig autonom: Ist jemand nicht Skiläufer, kennt er nur dieses. Bis nach dem 1. Weltkrieg vermochten keinerlei exogene Einflüsse dieses selbstreferentielle System zu stören. Der Skiratgeberdiskurs wurde ebenso wie frühe wissenschaftliche Überlegungen zum Schneedeckenaufbau oder ausländische verbauungstechnische Schriften komplett ignoriert. Sogar die von den ausländischen Berufskollegen betonte Dringlichkeit, die Abbruchgebiete im Winter aufzusuchen, wurde nicht aufgenommen. Fach- bzw. berufs-fremde Autoren nahm man, wenn sie denn überhaupt in forstamtlichen Organen publizieren konnten, nur wahr, wenn sich ihre Erkenntnisse mit jenen tradierten, von den Forstexponenten propagierten deckten. Kreativität war nicht gefragt, Veränderbarkeit von Wissen hatte keinen Platz. Schlagendes Beispiel ist der geologisch/geographisch geschulte Friedrich Wilhelm Sprecher, dessen Appell 1910, Verbauungen auf eine wissenschaftliche Grundlage zu stellen

und Forschungsgelder dafür zu sprechen, ohne Resonanz blieb. Der selbstreferentielle Diskurs der Schweizer Publizisten verschloss sich weitgehend vor neuen, exogenen Impulsen, derart sicherte die Systemerhaltung auch die Konservierung der Machtverhältnisse (Abb. 1). Zentrale Fragen rund um die Bildung von Lawinen behielten damit ihre untergeordnete Rolle. Bis anfangs der 1930er Jahre – also rund 110 Jahre – verharrten die Autoren praktisch unverändert in zwei grundlegenden tradierten Vorstellungen, der Genese der Staub- und Grundlawinen.

Die dargelegte Ausblendung von Wissen hat weitreichende Folgen. Die Schweizer Lawinenkunde berücksichtigt zumindest anfangs ihrer institutionellen Verwissenschaftlichung in den 1930er Jahren das Wissen früherer Diskurse nicht. Die Ursache dürfte u.a. massgeblich mit Coaz' Autorität zu tun haben: Bis 1914 ist er eidgenössischer Oberforstinspektor und bestimmt in diesem hierarchischen System implizit, welche Wahrheiten bzw. Erklärungen plausibel sind. Mehr noch: Coaz und seine Entourage bestimmen grundsätzlich, worüber überhaupt geschrieben wird, wodurch sie ihre legitimierte Expertise zementieren. Interessanterweise wird ihr Status auch immer wieder von Ratgeberautoren zumindest im Zusammenhang mit der «Grundlawinen»-Genese bestätigt, indem sie sich wohlwollend-anerkendend auf Coaz beziehen. Tatsächlich war «Die Lawinen der Schweizeralpen» (Coaz, 1881) betr. Umfang und Genauigkeit ein Monumentalwerk. Keiner hatte zuvor derart ausführlich über Lawinen berichtet, aber neu oder gar «bahnbrechend» (Föhn, 2007) waren die darin vertretenen Genesevorstellungen – entgegen des Historischen Lexikons der Schweiz und wie hier dargelegt – keineswegs: Der Oberforstinspektor hielt sich an die schon in früheren Texten des 19. Jh. vertretenen Ideen. Dennoch ist Coaz wohl der meistzitierte frühe Lawinenkundler. Die Ratgeberautoren erwähnen ihn bis in die frühen 1920er Jahre, die Forst-Community gar bis zu ihrer Zäsur anfangs der 1930er Jahre. Durchwegs besetzen die Forst-Community-Exponenten deshalb auch die entsprechenden Lehrstühle u.a. am Polytechnikum und sind mit wichtigen akademischen Kreisen, z.B. der Naturforschenden Gesellschaft, bestens vernetzt.

1914 wird Coaz durch Maurice Decoppet abgelöst, nach kurzer Amtszeit übernimmt 1922 Marius Petitmermet das Amt. Er ist es, der 1931 von Paulcke den Impuls zur Gründung eines Hochschullaboratoriums für Schnee- und Lawinenforschung erhält (Bundesarchiv, 1931). Auch an dieser Episode zeigt sich die enge Verschränkung von Wissen und Macht: Das Forstamt nimmt zwar Paulckes Anstoss entgegen und koordiniert die Sitzungen mit den von ihm gerateten Instanzen der ETH, Paulcke selbst aber bleibt letztlich aussen vor (ETH-Archiv, 1935). Die Macht konserviert sich in den bekannten – nationalen – Verflechtungen. Da die neue Institution interdisziplinär ausgerichtet ist, kommen Experten aus anderen Fachrichtungen hinzu. Gleichzeitig aber bleibt der Expertenstatus der Forstbeamten und -ingenieure erhalten. Sie – und nur sie, so die offizielle Meinung – setzten sich vor 1930 mit Lawinen und ihrer Entstehung rational auseinander.

## 6 Fazit und Ausblick

Erstaunlich ist, dass die historische Forschung bis heute diese Ansicht vertritt und Entwicklungen und Erkenntnisse anderer Gruppendiskurse, wie sie in der vorliegenden Studie herausgearbeitet wurden, bislang nie untersucht hat und deshalb nicht kennt. In gewisser Weise bewegen sich deshalb auch die betreffenden Historiker-/innen innerhalb des dargelegten Wissens- und Macht-Systems (Abb. 1): Sie stützen sich auf frühere Rückblicke, die oft von Vertretern der Schnee- und Lawinenforschungskommission bzw. später des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung (heute SLF) verfasst wurden. Diese referenzieren allenfalls gar Historiker-/innen, die sich ihrerseits aber wieder auf frühere Exponenten der Kommission oder des Instituts bezogen. Auf diese Weise wurden über die Jahre die dargelegten Experten- bzw. Wissens-Macht-Verhältnisse zementiert. Exemplarisch sei auf erwähnten Eintrag des Historischen Lexikons verwiesen: Nach dem Hinweis auf Coaz, durch den «Ende des 19. Jh. [...] die Erforschung» begonnen hätte, kommt Paul Föhn, Verfasser des Eintrags und ehemaliger SLF-Vizedirektor, direkt auf die Eidgenössische Kommission für Schnee- und Lawinenforschung zu sprechen. Mit der Gründung ebendieser Kommission sei u.a. «der Grundstein zur wissenschaftlich begründeten Analyse» (Föhn, 2007) gelegt worden. Achermann (2009) relativiert zwar diese Vormachtstellung der Forst-Community mit dem Hinweis auf Paulckes Anstoss zur Verwissenschaftlichung, aber sie unterlässt, vom Karlsruher aus den ungemein differenzierteren Ratgeberdiskurs aufzudecken. Er bleibt ihr ebenso verborgen wie dem Berner Umwelthistoriker Pfister, der meint: «[T]he phenomenon of avalanches was [...] tried to be understood quite early» (Latenser & Pfister, 1997, S. 242), um anschliessend auf Fankhauser, Coaz, Hess, also auf Vertreter der Forst-Community, und – immerhin – Sprecher zu verweisen. Aber auch er bleibt bei diesen Namen stehen und bestätigt damit die falsche Fährte.



Abb. 1. Selbstreferentielles Wissens- und Macht-System.

Was den bisherigen historischen Arbeiten also fehlt, ist eine Sicht von ausserhalb des bekannten Wissens, die Exploration bisher unbekannter Quelldokumente. Auf diese verweisen zwar die bis dahin untersuchten Texte nicht explizit, eben da die Forst-Community sich gegen alle exogenen Diskurseinflüsse abschottete bzw. diese ignorierte. Dennoch finden sich feine Hinweise, z.B. wenn 1943 anlässlich der Eröffnung des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung in einer Randbemerkung doch noch Paulcke verdankt oder – ebenfalls nur kurz – der Name Sprechers erwähnt wird (Niggli, 1943, S. 15 f). Erklärbar ist der dargelegte Umstand der Zementierung falschen oder mangelhaften Wissens insb. durch die Selbstreferentialität des historisch gewachsenen Systems (Abb. 1): Auch die historischen Autoren bewegen sich im dargelegten Gefüge anerkannten Wissens und stellen dieses nicht in Frage. Hätte bspw. Achermann nur ansatzweise um den Ratgeberdiskurs gewusst, hätte sie nicht festgestellt, dass «bis in die 1920er Jahre die Lawinenforschung in der Schweiz daraus bestand, Beobachtungen festzuhalten, Niedergänge zu beschreiben, zu kategorisieren und vereinzelt Messungen vorzunehmen. Die Forscher – vor allem Förster – [... waren sich einig], dass die Bildung von Lawinen mit der Höhe des Schnees, beziehungsweise der Niederschlagsmenge, den Temperaturen, der Hangneigung, der Windstärke und der Schneebeschaffenheit abhing» (Achermann, 2009, S. 24). Ihre Feststellung zeigt aber auch, dass sie vielleicht eher auf den Ratgeberdiskurs gestossen wäre, hätte sie sich mit der Frage der Lawinenbildung anstelle rein institutioneller Kontextbedingungen beschäftigt.

Aus didaktischer Sicht und vor allem aus der Perspektive von Nature of Science offenbaren die präsentierten Ergebnisse hohes Potential, um an ihnen grundlegende Prinzipien naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns zu vermitteln. Die Gegenüberstellung der beiden Hauptprotagonisten Paulcke und Zdarsky einerseits und der schweizerischen Forstcommunity andererseits zeigt geradezu überspitzt, welche Rolle soziale und kulturelle Faktoren in Bezug auf Wissensgenerierung spielen können. Sichtbar werden – positiv gemünzt – auch die Bedeutung von Kreativität, indem altes und neues Wissen miteinander verbunden und weiterentwickelt werden, und die notwendige Fähigkeit, exakt zu beobachten und daraus Schlüsse zu ziehen sowie die Überzeugung, dass bestehendes Wissen veränderbar ist. Wider jegliche Wissenserweiterung steht hingegen ein hochgradig selbstreferentielles System, das seine Macht erhält, indem es sich gegen aussen abschottet und Wissensbestände zementiert, Erkenntnisgewinn nur in engen Bahnen zulässt und somit wissensmässig stagniert. Kreativität, Beobachtungsgabe und Bereitschaft zur Veränderung sind nicht nötig, um den Status quo zu erhalten, im Gegenteil, sie sind gar nicht erwünscht. In einem nächsten Schritt gilt es dieses NOS-Potential für die unterrichtliche Vermittlung nutzbar zu machen.

## References

- Achermann, D. (2009). *Die Schnee- und Lawinenforschung in der Schweiz, Merkmale und Bedingungen des Wandels hin zu einer modernen wissenschaftlichen Disziplin 1931-1943*. Lizentiatsarbeit der Philosophischen Fakultät I der Universität Zürich, Historisches Seminar. Abgerufen am 28.07.2022 von [https://www.slf.ch/fileadmin/user\\_upload/SLF/Ueber\\_das\\_SLF/Portrait/Liz\\_Dania\\_Achermann.pdf](https://www.slf.ch/fileadmin/user_upload/SLF/Ueber_das_SLF/Portrait/Liz_Dania_Achermann.pdf)
- Amstutz, M. D. (2010). *Die Anfänge des alpinen Skirennsports. The Golden Age of Alpine Skiing*. AS.
- Brugnara Y., Brönnimann S., Zamuriano M., Schild J., Rohr C., & Segesser D. M. (2016). *Dezember 1916: Weisser Tod im Ersten Weltkrieg*. Geographica Bernensia G91. Abgerufen am 28.07.2022 von <https://boris.unibe.ch/90786/2/dezember1916.pdf>
- Bundesarchiv (1931). Brief von Paulcke an die Eidg. Oberforstinspektion vom 21. Mai 1931. Bern.

- Coaz, J. (1881). *Die Launen der Schweizeralpen*. J. Dap'sche Buch- und Kunsthandlung.
- Coaz, J. (1910). *Statistik und Verbau der Lawinen in den Schweizeralpen = Statistique des avalanches dans les Alpes suisses et des travaux de défense y relatifs*. Stämpfli.
- Colbeck, S. C. (1987). History of snow-cover research. *Journal of Glaciology, Special Issue*, 60-65.
- DGfG – Deutsche Gesellschaft für Geographie (2020). *Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss*. Selbstverlag.
- Egli, K. (1912). *Die militärische Verwendung der Ski*. Schweizerischer Ski-Verband (Hrsg.), Jahrbuch des Schweizerischen Ski-Verbandes = Annuaire de l'Association Suisse des Clubs de Ski 8 (4-9). Selbstverlag.
- ETH-Archiv (1935). Brief von Staub an Petümermet vom 15. November 1935. Zürich.
- Fankhauser, F. (1929). *Über Lawinen und Lawinenverbau*. Separatdruck aus Die Alpen (5)1. SAC.
- Föhn, P. (2007). Lawinen. In *Historisches Lexikon der Schweiz (HLS)*. Abgerufen am 28.07.2022 von <https://hls-dhss.ch/de/articles/007781/2015-06-18/>
- Gruber, K. (1925). Über Lawinengefahr. *Mitteilungen des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins* 51, 1-3.
- Grupp, P. (2008). *Faszination Berg. Die Geschichte des Alpinismus*. Böhlau.
- Haid, H. (2007). *Mythos Lawine. Eine Kulturgeschichte*. Studien.
- Harvey, S., Rhyner, H. & Schweizer, J. (2012). *Lawinenkunde*. Bruckmann.
- Heim, A. (1885). *Handbuch der Gletscherkunde*. Engelhorn.
- Heim, A. (1888). Lawinen und Lawinenschutz. *Schweizerische Bauzeitung*, 16-20.
- Heim, A. (1896). *Die Gletscherlawine an der Alts: am 11. September 1895*. Naturforschende Gesellschaft Zürcher und Furrer.
- Henne, A. (1925). *Die Lawinenverbauung Schiaborn-Dorfberg in Davos*. Veröffentlichungen über Lawinenverbauungen 1. Sekretariat der Eidg. Inspektion für Forstwesen, Jagd und Fischerei.
- Hess, E. (1936). *Erfahrungen über Lawinenverbauungen*. Veröffentlichungen über Lawinenverbauungen 4. Sekretariat der Eidg. Inspektion für Forstwesen, Jagd und Fischerei.
- Hoek, H. (1920). *Der Schi und seine sportliche Benutzung* (6. Aufl.). Bergverlag Rudolf Rother.
- Hoek, H. (1925). *Der Schi und seine sportliche Benutzung* (8. Aufl.). Bergverlag Rudolf Rother.
- Hoek, H. & Richardson, E. C. (1908). *Der Schi und seine sportliche Benutzung* (3. Aufl.). Gustav Lammers.
- Kasthofer, K. A. (1818). *Bemerkungen über die Wälder und Alpen des bernerischen Hochgebirgs: ein Beitrag zur Bestimmung der Vegetationsgrenze schweizerischer Holzarten, des Einflusses der Waldungen auf die Kultur des Hochgebirgs, des Verhältnisses der Forstwirtschaft zur Landwirtschaft und der Bedinge für Verbesserung der Alpenwirtschaft*. Heinrich Remigius Sauerländer.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengiesser, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3(3), 3-18.
- Kirchmayr, H. (2015). Mathias Zdarskys frühe Erkenntnisse über die Lawinengefahr. In O. Schöner, (Hrsg.), *Mathias Zdarsky und die Bahnbrecher im alpinen Schnee* (111-121). Otmar Schöner.
- Kohl, J. G. (1851). *Naturansichten aus den Alpen*. Arnoldische Buchhandlung.
- Koska, J. & Krüger, D. (2012). Nature of Science-Perspektiven von Studierenden. In D. Krüger, A. Upmeyer zu Belzen, P. Schmiemann, A. Möller & D. Elster (Hrsg.), *Erkenntnisweg Biologiedidaktik* 11 (115-127). Universitätsdruckerei.
- Kronthaler, G. & Zenke, B. (2006). Schneedeckendiagnose. *Bergundsteigen* 4(6), 56-64.
- Landolt, E. (1886). *Die Bäche, Schneelawinen und Steinschläge und die Mittel zur Verminderung der Schädigungen durch dieselben*. Orell Füssli & Co.
- Latenser, M. & Pfister, C. (1997). Avalanches in Switzerland 1500-1990. In J. Matthews (Ed.), *Rapid mass movements since the Holocene* (Special Issue of European Palaeoclimate and Man 16) (241-266). Gustav Fischer Verlag.
- Lederman, N. (2014). Students' and Teachers' Conceptions of the Nature of Science: A Review of the Research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- Loretan, R. (1935). *Die Lawinenverbauungen Torrentalp zum Schutze des Thermalkurortes Leukerbad*. Veröffentlichungen über Lawinenverbauungen 3. Selbstverlag.
- Marti, F. (1887). *Verbauungen und Aufforstungen im Forstkreis Interlaken*. Jahrbuch des Schweizer Alpenclubs SAC 22 (288-303). Selbstverlag.
- Mayring, P. A. E. (2010). Qualitative Inhaltsanalyse. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (601-613). VS.
- Meurer, J. & Rabl, J. (1893). *Der Bergsteiger im Hochgebirge. Alpin-touristische Schilderungen. Nach den Berichten hervorragender Hochtouristen*. Hartleben.
- Munter, W. (2009). *3x3 Lawinen: Risikomanagement im Wintersport* (4. Aufl.). Pohl & Schellhammer.
- Nauright, J. & Parrish, C. (2012). *Sports around the world. History, culture and practice*. ABC-CLIO.
- Neumann, I. & Kremer, K. (2013). Nature of Science and epistemologische Überzeugungen – Ähnlichkeiten und Unterschiede. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 19, 209-232.
- Niggli, P. (1943). Die Schnee-, Lawinen- und Gletscherkunde in der Schweiz. *Mitteilungen des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung* 1, 12-25.
- Osenbrüggen, E. (1864). *Neue culturhistorische Bilder aus der Schweiz* (2. Aufl.). Rossberg.
- Paulcke, W. (1899). *Der Skilauf: seine Erlernung und Verwendung im Dienste des Verkehrs, sowie zu touristischen, alpinen und militärischen Zwecken* (1. Aufl.). Wagner.

- Paulcke, W. (1903). *Der Skilauf: seine Erlernung und Verwendung im Dienste des Verkehrs, sowie zu touristischen, alpinen und militärischen Zwecken* (2. Aufl.). Wagner.
- Paulcke, W. (1908). *Der Skilauf: seine Erlernung und Verwendung im Dienste des Verkehrs, sowie zu touristischen, alpinen und militärischen Zwecken* (4. Aufl.). Wagner.
- Paulcke, W. (1922; Hrsg. unter E. Zsigmondy). *Die Gefahren der Alpen. Erfahrungen und Ratschläge* (6. Aufl.). Rother.
- Paulcke, W. (1926). *Lawinengefahr ihre Entstehung und Vermeidung. Eine Darlegung für Bergsteiger und Skiläufer mit 1 Kartenentwurf und 6 halbschematischen Abbildungen*. München.
- Petitmermet, M. (1943). Die praktische Bedeutung der schweiz. Schnee- und Lawinenforschung. *Mitteilungen des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung* 1. 5-10.
- Pfister, C. (1999). *Wetternachhersage: 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496 -1995)*. Haupt.
- Pollack, V. (1906). *Ueber Erfahrungen im Lawinenverbau in Oesterreich*. Franz Deutike.
- Rabusseau, R. (2007). *Les neiges labiles: une histoire culturelle de l'avalanche au XVIIIe siècle*. Presses d'histoire suisse.
- Ratzel, F. (1889). *Die Schneedecke, besonders in deutschen Gebirgen*. Engelhorn.
- Rempfler, A. (2010a). Fachliche und systemische Alltagsvorstellungen von Schülerinnen und Schülern zum Thema Lawinen. In S. Reinfried (Hrsg.), *Schülervorstellungen und geographisches Lernen* (55-86). Logos.
- Rempfler, A. (2010b). Systems Concepts of Youths: Design and Results of an Explorative Pilot Study on the Topic of Avalanches. *Die Erde*, 41(4), 341-359.
- Rempfler, A. & Künzle, R. (2013). Der Komplexität von Lawinen auf der Spur. Konzeption und Umsetzung einer Unterrichtseinheit. *Geographie und Schule*, 35(204), 29-38.
- Roeder, G. W. & von Tscharnner, P. C. (1838). *Kanton Graubünden historisch, geographisch, statistisch geschildert: Beschreibung aller in demselben befindlichen Berge, Seen, Flüsse, Heilquellen, Städte, Flecken, Dörfer, Weiler, so wie der Schlösser, Burgen und Klöster nebst Anweisung denselben auf die genussvollste und nützlichste Weise zu bereisen. Ein Hand- und Hausbuch für Kantonsbürger und Reisende*. Huber.
- Rutgers, F. (1920). Die Lawinen-Gefahr für Touristen. In Sektion Uto (Hrsg.), *Ratgeber für Bergsteiger* (105-141). Orell Füssli.
- Schädelin, F. (1934). *Die Lawinenverbauung Faldumalp*. Veröffentlichungen über Lawinenverbauungen 2. Sekretariat der Eidg. Inspektion für Forstwesen, Jagd und Fischerei.
- Schweizer, J., Margreth, S., Feistl, T., Stucki, T., & Jonas, T. (2013). Schnee als Bedrohung. In WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) (Hrsg.), *Schnee* (56-87). Primus.
- Sommer, J. G. (1828). *Gemälde der physischen Welt oder unterhaltende Darstellung der Himmels- und Erdkunde. Physikalische Beschreibung der festen Oberfläche des Erdkörpers* (2. Aufl.). J. G. Calve'sche Buchhandlung.
- Sprecher, F. W. (1900). *Grundlawinenstudien Teil I*. Jahrbuch des Schweizer Alpenclubs SAC 35 (268-292). Selbstverlag.
- Sprecher, F. W. (1902). *Grundlawinenstudien Teil II*. Jahrbuch des Schweizer Alpenclubs SAC 37 (219-243). Selbstverlag.
- Sprecher, F. W. (1903). *Lawinen an der Jungfrau*. Jahrbuch des Schweizer Alpenclubs SAC 38 (364-367). Selbstverlag.
- Sprecher, F. W. (1910). *Über die künstliche Veranlassung des Abganges von Lawinen*. Separatdruck aus Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 61. Bern/Zürich.
- Sprecher, F. W. (1912a). *Alpiner Skilauf und Lawinengefahr*. Separatdruck aus Jahrbuch des Schweizerischen Ski-Verbandes = Annuaire de l'Association Suisse des Clubs de Ski 8. R. Suter & Cie.
- Sprecher, F. W. (1912b). Ueber die Mechanik der Staublawnen. *Deutsche Alpenzeitung* 6, 241-248.
- Stössel, S. (2017). *Fachliche Klärung der Lawinenbildung. Eine historische Analyse schichtbasierter Vorstellungen zwischen 1820 und 1930 im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion*. (Masterarbeit, unveröff.). Pädagogische Hochschule Luzern.
- Tscherfing, M. (2011). *Alltagsvorstellungen von Schneelawinen – eine qualitative Analyse*. (Masterarbeit, unveröff.). Pädagogische Hochschule Luzern.
- Tschirky, F., Brabec, B., & Kern, M. (2000). *Avalanche Rescue Systems in Switzerland: Experience and Limitations*. Abgerufen am 28.07.2022 von <https://arc.lib.montana.edu/snow-science/objects/issw-2000-369-376.pdf>
- Tyndall, J. (1860). *The Glaciers of the Alps. A Narrative of Excursions and Ascents*. J. Murray.
- Von Berlepsch, H. A. (1862). *Die Alpen in Natur- und Lebensbildern*. Costenoble.
- Von Ficker, H. (1905). Winterschnee und Lawinenbildung. *Österreichische Alpenzeitung* 27(678). 13-20.
- Welzenbach, W. (1930). *Untersuchungen über die Stratigraphie der Schneeablagerungen und die Mechanik der Schneebewegungen nebst Schlussfolgerungen auf die Methoden der Verbauung*. Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins 9. Selbstverlag.
- Wödl, H. (1904). Die Lawinengefahr bei winterlichen Hochtouren. *Österreichische Alpenzeitung* 26(657), 73-82.
- Zdarsky, M. (1907). Die Skiaugen im Gebirge. *Der Schnee* 26, 2-4.
- Zdarsky, M. (1916). *Elemente der Lawinenkunde. Mit einem Anhang: Einige hygienische Winke*. Wien.
- Zdarsky, M. (1929). *Beiträge zur Lawinenkunde*. A-B-Z-Druck und Verlagsanstalt.
- Zsigmondy, E. (1885). *Die Gefahren der Alpen. Praktische Winke für Bergsteiger* (1. Aufl.). Paul Froberg.