

Ergebnisbericht

# Schutz für Schnee, Mensch und Klima

Durchgeführt von



**Autoren: Martin Kossagk & Tino Schmiel**  
Technische Universität Dresden  
Institut für Luft- und Raumfahrttechnik

**Gefördert im Rahmen der Fördermaßnahmen**  
**zur Leistungssteigerung und Innovationsförderung im Tourismus (LIFT)**  
durch das



**Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz**

## Kurzfassung

**In diesem Vorhaben wurde ein Schnee Laser Bohrer entwickelt, im Labor getestet und Feldtests in den Alpen und zusätzlich in der Arktis durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass ein Schnee Laser Bohrer eine gute und für den Menschen sichere Entscheidungsgrundlage für notwendige Lawinensprengungen geben kann. Damit können Kohlendioxid und andere Treibhausgase eingespart, der Tourismus und Anwohner geschützt sowie Schnee für die Sonnenreflektion gesichert und damit das Klima unterstützt werden.**

## Ausgangssituation

Aktuell werden nach Schneefällen vorsorgliche Lawinensprengungen in und um Ski Gebieten durchgeführt. Hierdurch wird die Gefahr von unkontrollierten Lawinenabgängen gemindert. Dies schützt die Touristen und Anwohner. Die Lawinensprengungen bewirken eine Ansammlung des Schnees im wärmeren Tal, wo dieser eher schmilzt, als am kühleren Berghang. Je 100 Höhenmeter kühlt sich die Luft um ca. 0,65 Kelvin ab. Dies führt dazu, dass im Tal schon die Schneeschmelze einsetzen kann, während auf dem Berg noch Minusgrade herrschen.

Wenn jedoch nun auch am Berg die Schneeschmelze einsetzt, wird aufgrund der geringen Menge sehr schnell die komplette Schneeschicht abgeschmolzen, wodurch der ursprüngliche Untergrund des Berges wieder zum Vorschein kommt. Da Schnee ähnlich der arktischen Eisschilde ein hohes Reflektionsvermögen hat, **wirken Schneeflächen dem Treibhauseffekt entgegen**. Dies ist möglich, da Sonnenlicht durch den Schnee wieder in den Weltraum zurück reflektiert wird. Ohne Schnee würde das Licht in Wärme umgewandelt werden und die thermische Strahlung kann aufgrund der steigenden CO<sub>2</sub> Konzentration in der Atmosphäre nicht in den Weltraum entweichen.

Das im Vorhaben angestrebte Gerät „Schnee Laser Bohrer“ soll bessere Entscheidungsgrundlagen für Lawinensprengungen geben, so dass unnötige Sprengungen vermieden werden können. Dies spart Ressourcen (Sprengstoff, Treibstoff für Helikopterflüge, Personalstunden) und führt zu einer möglichst lange in den Frühling hinein reichenden Schneedecke an den Berghängen, welche die zum Frühjahr hin immer länger strahlende Sonne reflektiert. Diese Einsparungen von Sprengstoff und Treibstoff für Helikopterflüge führen zu Einsparung von CO<sub>2</sub> Emissionen. Gefährliche Treibhausgase werden vermieden, während gleichzeitig der netto Wärmeeintrag durch die Sonne verringert wird.

Jedoch sind die Auswirkungen nicht zu unterschätzen. Ein Quadratmeter Schnee reflektiert Sonnenlicht, welches bei Wärmeeintrag einem CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 189 Gramm Kohlendioxid entsprechen würde. In der Schweiz werden circa 30000 Sprengungen mit 70 Tonnen Sprengstoff pro Jahr angegeben. Eine durchschnittliche Lawinengröße beträgt 150x80

Quadratmeter. (Vergleiche auch H. Schaiger, et.al. "Die Klima- und Energiebilanz von Skigebieten...", Johanneum Research, 2017; Simon Legniti: „Lawinenauslösesysteme: Ökologische Risikoanalyse“, 2022). Wenn nur wenige Prozente an Schneesprengungen eingespart werden, entspräche dies einem CO<sub>2</sub>-Äquivalent von mehreren Tausend Tonnen Kohlendioxid – die Emission durch den Sprengstoff nicht mit eingerechnet. Aus Sicht der Autoren erlaubt die derzeitige Datenlage keine hinreichend genaue Berechnung dieser Einsparungen (u.a. aufgrund der Lageabhängigkeit der Reflektion der Schneemassen und fehlender konkreter Datenbasis der Flächen).

## Der Schnee Laser Bohrer

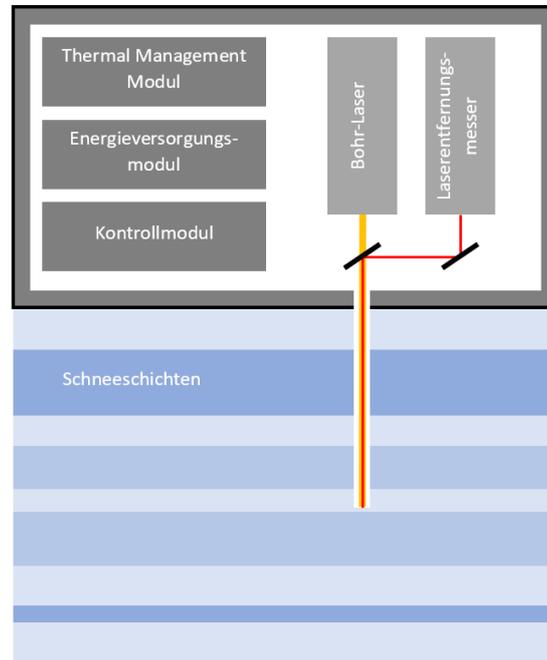
Bei dem Schnee Laser Bohrer handelt es sich um einen kleinen Laser, der sich von oben in die Schneeschiicht einschmilzt. Die Tiefe des Schmelzlochs wird mit einem Laserentfernungsmesser bestimmt, dessen Laserstrahl über einen dichromatischen Spiegel kollinear mit dem Bohrlaserstrahl zusammengeführt wird. Über eine hohe Taktung der Entfernungsmessungen, kann die Bohrgeschwindigkeit im Schnee bestimmt werden. Je nach Schneedichte werden unterschiedliche Schmelzgeschwindigkeiten erreicht und detektiert. Mit einem geeigneten Thermalmodell kann aus der Schmelzgeschwindigkeit die Dichte der

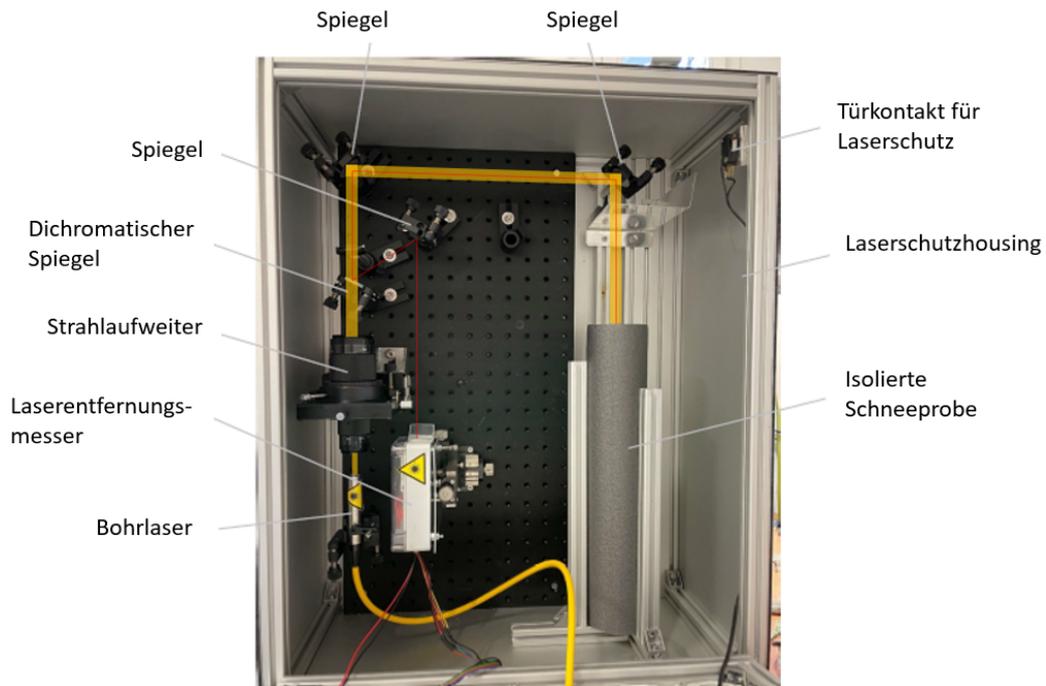
jeweiligen durchbohrten Schicht bestimmt werden. Außerdem ist es möglich, die Dicke und Position der jeweiligen Schicht genau zu bestimmen.

Das System braucht kein Gestänge und kann relativ leicht und kompakt aufgebaut werden, sodass es in Zukunft durch eine Drohne zum Messort transportiert werden könnte, um dort das Schneeschiichtprofil aufzunehmen. Hierdurch kann es möglich sein, mehr Messungen und Messergebnisse in Lawinen gefährdeten Zonen aufzunehmen. Gerade in Lawinen gefährdeten Zonen gibt es keine Messungen, wenn nicht im vorhergehenden Herbst eine Messstation aufgebaut wurde. Mit dem Schnee Laser Bohrer wird es daher in der Zukunft möglich sein auch dort Messungen durchzuführen. Durch das verbesserte Lagebild könnte nun besser entschieden werden, ob eine Lawinensprengung nötig wird. Dies soll in Zukunft zu weniger Lawinen-Sprengungen führen, da nicht mehr auf Verdacht gesprengt werden muss. (Vergleiche auch Seite 2, Absatz 5)

## Die Untersuchungen im Labor

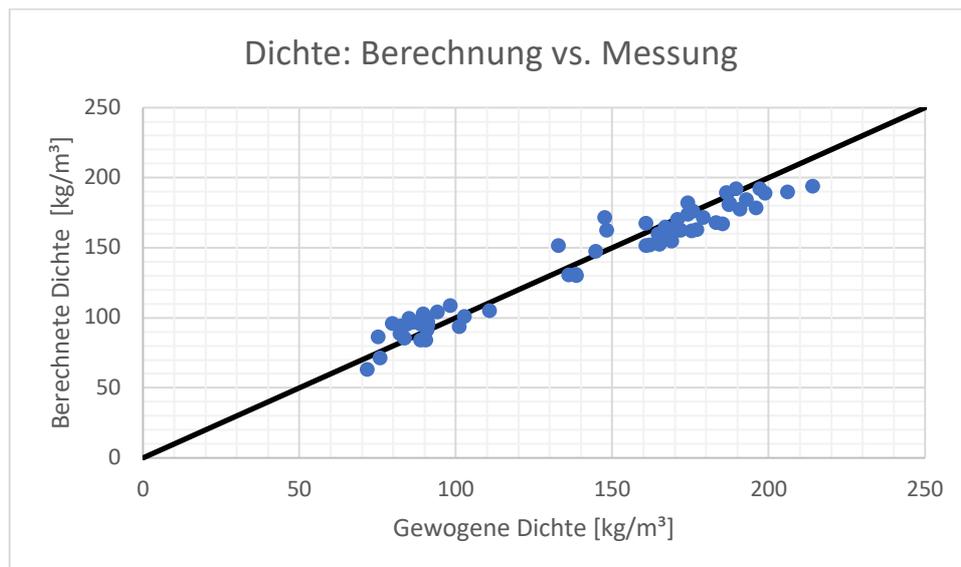
Im Labor wurden einige Schneeproben mit unterschiedlichen Dichten hergestellt. Diese wurden mit dem Laser Schnee Bohrer durchbohrt. Dabei ergaben sich je nach Schneedichte und verwendeter Laserleistung unterschiedliche Schmelzgeschwindigkeiten.





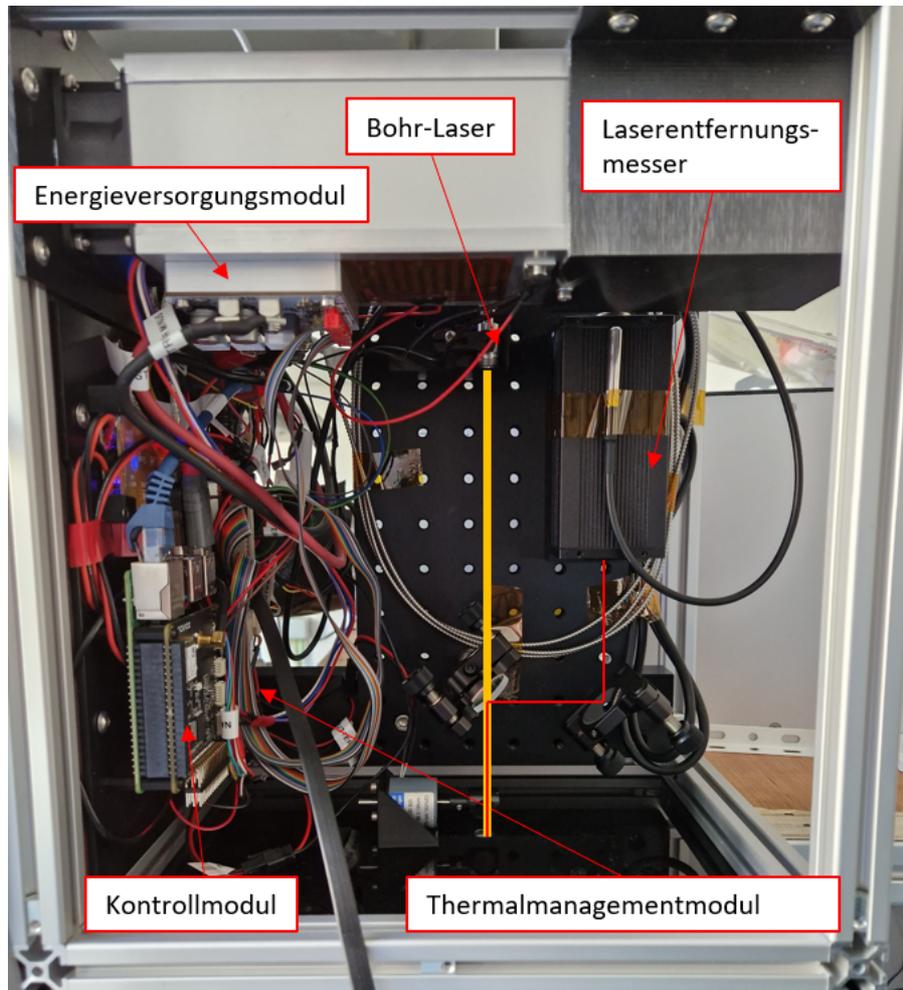
*Laboraufbau des Schnee Laser Bohrers*

Die Schmelzgeschwindigkeiten wurden in ein überarbeitetes Thermalmodell gegeben, um daraus die Schneedichte der Proben zu bestimmen. Diese Werte sind im nachfolgenden Diagramm den zuvor durch Wiegen und Volumenmessung ermittelten Dichten gegenübergestellt. Dabei konnte eine gute Übereinstimmung zwischen etablierter Dichtebestimmung und dem neuen Laserbohrverfahren gezeigt werden.



## Das neue Labormuster

Parallel zu den Schmelzversuchen wurde ein neues Labormuster mit einem 12 W Laser aufgebaut. Dieses wurde zunächst im Labor und später in den Alpen sowie zusätzlich zu den Arbeiten im Vorhaben in der Arktis getestet.



*Innenleben des Labormusters*

## Das Benutzerinterface

Das Benutzerinterface wurde grundlegend überarbeitet. Nun kann der Schmelzverlauf in Echtzeit auf jedem Mobilendgerät wie Tablet, Smartphone oder Laptop im Feld überwacht und gesteuert werden. Hierbei wird dem Experimentator schon ein erster Überblick über das Dichteprofil gegeben. Die Daten werden strukturiert für ein mögliches Postprocessing abgespeichert.



*Screenshot vom neuen Benutzerinterface, während einer Testmessung im Labor*

## Die Feldtests

Bei den Feldtests wurden neben den Messungen mit dem Schnee Laser Bohrer auch weitere Messverfahren zum Vergleich angewandt (SnowMicroPen, ein Density Cutter, ein Denoth-Meter).

Der SnowMicroPen ist ein Messgerät der Schweizer Schnee- und Lawinenforschung (SLF), mit dem über eine Kraftmessspitze der Eindringwiderstand eines Penetrometers in Schnee bestimmt werden kann. Das dabei aufgenommene Kraft Profil hat eine hohe Tiefenauflösung und kann in ein tiefenaufgelöstes Dichteprofil umgerechnet werden. Hierfür werden keine Schneegrabungen benötigt.

Der Density Cutter ist das Standard Instrument zur Bestimmung der Schneedichte im Feld. Hierfür muss eine Schneegrube gegraben werden, an deren Stirnfläche mit einem Density Cuttern ein kleines Schneevolumen aus dem Schnee ausgestanzt wird. Dieses Volumen wird anschließend gewogen. Die Dichte des ausgestochenen Schnees kann nun anhand des bekannten Schneevolumens aus dem Density Cutter der gemessenen Dichte berechnet werden. Die Tiefenauflösung dieses Verfahrens ist entsprechend der Density Cutter-Größe im Zentimeterbereich.

Mit dem Denothmeter wird die Dielektrizitätskonstante des Schnees gemessen. Aus dieser Größe kann bei trockenem Schnee die Schneedichte oder bei feuchtem Schnee die Schneefeuchte abgeleitet werden. Hierzu wird ebenfalls eine Schneegrabung durchgeführt, um eine Antennenplatte in die Stirnfläche der Schneegrube zu schieben. Auch hier bewegt sich die Tiefenauflösung der gemessenen Schneedichte im Zentimeterbereich.

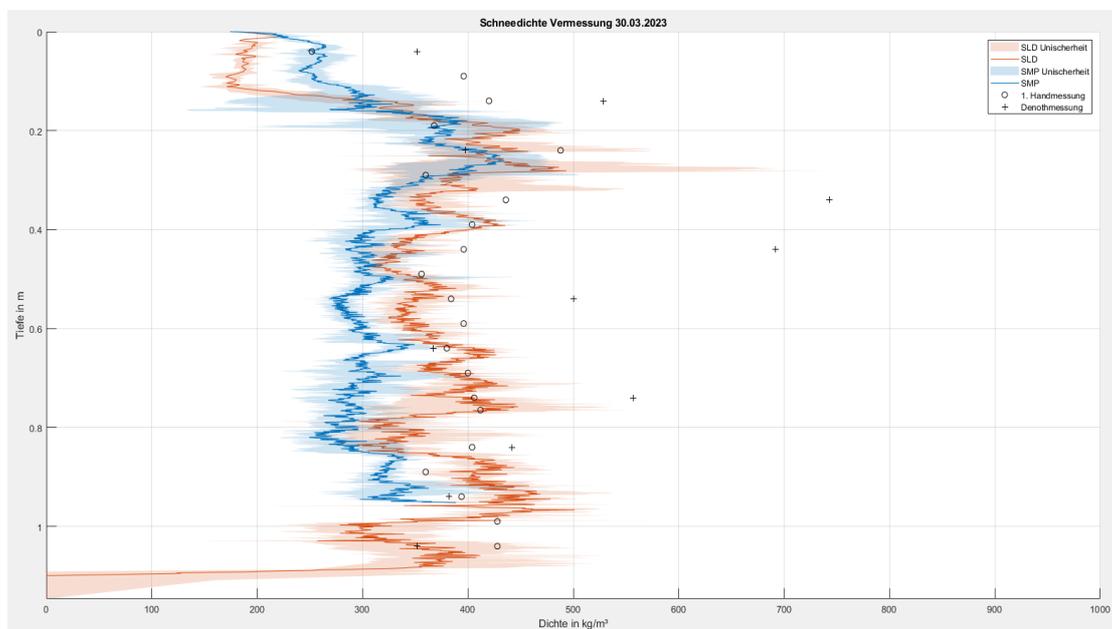
Die Feldtests erfolgten in den Alpen im Wattentaler Lizum an 5 verschiedenen Standorten im Zeitraum vom 27.-31.3.2023. Zusätzlich konnten auf Spitzbergen (Arktis) weitere Messungen an 8 Standorten im Zeitraum vom 15. – 31.3.2023 erhoben werden. Dabei konnte eine gute Reproduzierbarkeit der Messungen so wie eine gute Vergleichbarkeit zwischen SnowMicroPen, Handmessung und Schnee Laser Bohrer erzielt werden.



*Labormuster im Feldtest in den Alpen*



Labormuster im Feldtest auf Spitzbergen (Arktis)



Vergleich der Ergebnisse der Dichtemessungen von SnowMicroPen (SMP), Schnee Laser Bohrer (SLD), Handmessungen mit dem Density Cutter und Dichtemessungen mit dem Denoth-Meter an einem Standort im Wattentaler Lizum (Alpen).

## Aufzählung wesentlicher Ergebnisse

- Durchbohren von 60 Schneeproben im Labor mit Laserleistungen von 3 bis 19 W
- Thermalmodell ohne Korrekturfaktoren bis 4 mm/s Bohrgeschwindigkeit gültig
- Ab 4 mm/s Bohrgeschwindigkeit ist Thermalmodell mit einem Korrekturfaktor weiterhin gültig
- Durchführung von horizontalen Kalibrierungsbohrungen
- Durchführung von 3 bis 6 vertikalen Messungen an 5 Standorten im Wattentaler Lizum und 8 Standorten auf Spitzbergen
- Es wurde sowohl eine gute Übereinstimmung mit den Vergleichsmessungen, als auch eine gute Reproduzierbarkeit der Laserbohrermessungen bei alpinem und arktischem Schnee erzielt.
- Mit dem Benutzerfreundlichen Interface war eine bessere Überwachung der Schneemessungen im Feld möglich. Durch die strukturiertere Datenspeicherung war auch eine effizientere Datenaufarbeitung möglich.

Damit steht aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht ein einsatznah getestetes technisches Muster bereit, welches bei Einsatz in der Lawinenvorhersage Messergebnisse bereitstellen kann, die eine bessere Entscheidungsgrundlage für mögliche Lawinensprengungen ermöglicht. Dies kann zu einer Reduzierung der Sprengungen und damit zur Einsparung von Kohlendioxid und anderen Treibhausgasen führen. Ebenso werden dann weniger Schneeflächen entfernt, die zur Reflektion der Sonnenstrahlung und damit zur Verringerung des Wärmeeintrages notwendig sind.

## Ausblick

Nach dem Beweis der Funktionsfähigkeit und Anwendbarkeit ist nun die Grundlage für die Weiterentwicklung geschaffen. Die sollte die Miniaturisierung des Schnee Laser Bohrer beinhalten. Wenn er klein und leicht genug ist, kann er so mit einer Drohne in lawinengefährdete Gebiete transportiert werden, um dort die Schneeschichten zu vermessen. Herkömmliche Messverfahren benötigen einen Operator vor Ort, so dass lawinengefährdete Bereiche nicht als Messstandort in Frage kommen. Doch gerade hier werden am dringendsten Informationen benötigt, um Entscheidungen für präventive Sprengungen zu treffen. Damit können Lawinenforscher, Touristen, Einheimische, der Schnee und das Klima gezielter geschützt werden.

Die detaillierten Ergebnisse wurden und werden auf Fachkonferenzen veröffentlicht. Mit Fertigstellung des vorliegenden Berichtes sind dies vorläufig:

- Internationale Konferenz IUGG „XXVIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics“ im Konferenzbereich „Snow Hydrology“ , July 2023 (DOI: 10.57757/IUGG23-4038)
- In Planung: Internationale Konferenz ISSW2023 „Snow Science Workshop 2023“:
  - o A Novel Laser-based Instrument for Estimating Depth-resolved Snow Density -  
PART 1: LAB EXPERIMENTS  
PART 2: FIELD TESTS