

innovative Sensorentwicklung für den Liquid Water Content von Schnee für die Lawinenvorhersage

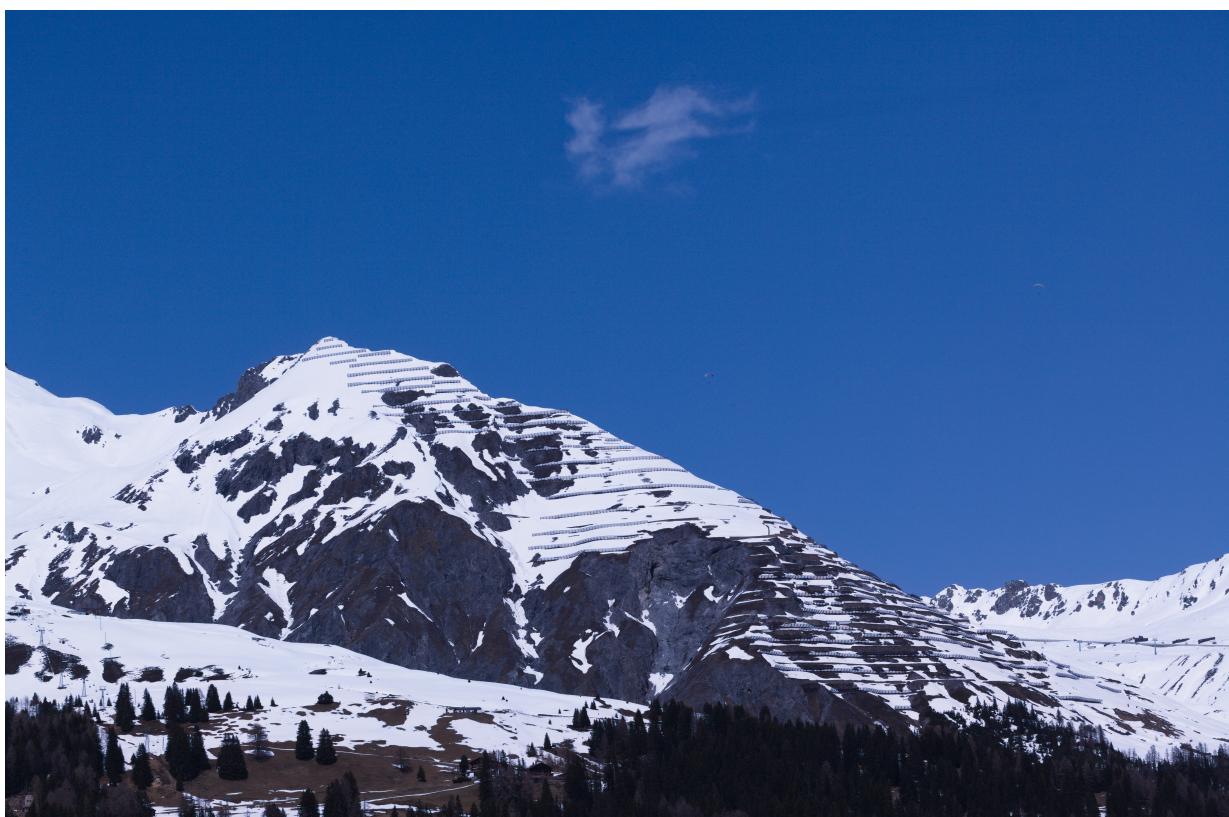
Bachelorarbeit
Bachelor für Maschinentechnik | Innovation

Betreuung:
Albert Loichinger

Unterstützung Team IPEK:
Christian Locher

FS 2024
Abgabedatum: 2024.

Autor: Peter Kuhn



Abstract

in dieser produktentwicklungsaufgabe wurde eine Innovativer sensor entwickelt um den Liquid water Contet von schnee zu messen.

dazu wurden verschiedene physikalische wirkprinzipien getesten. die vielversprechendste technik in der ein Water indikator Tape aus der qualitassicherung im elektronikbrachnche visuell auswertet wird, wurde über 5 iterationen entwickelnt um die interaktion des schnees und Taps zu verstehen.

Die messmethode zeigt die fahigkeiten den lwc von schnee zu erfassen. bis jetzt ist es aber noch nicht sicher ob die prazision und genauigkeit ausreichend ist um in ein produkt umgesetzt zu werden.

In dieser Arbeit wurde ein innovativer Sensor zur Messung des Flüssigwasser gehalts (Liquid Water Content, LWC) in Schnee entwickelt. Verschiedene physikalische Prinzipien wurden getestet, um die beste Methode zur Bestimmung des LWC zu identifizieren. Die vielversprechendste Technik erwies sich als der Einsatz eines Wasserindikatorbands aus der Qualitätssicherung in der Elektronikbranche, welches visuell ausgewertet wird. Über fünf Iterationen hinweg wurde der Sensor weiterentwickelt, um die Interaktion zwischen Schnee und dem Indikatorband besser zu verstehen.

Die Auswertung erfolgt durch visuelle und digitale Analyse des 3M 5559 Water Indikator Tapes. Das Tape, das bei Kontakt mit Wasser rot wird, wird für definierte Zeitspannen auf die Schneeoberfläche gelegt und anschließend fotografiert. Die visuelle Beurteilung erfolgt durch die einfache Betrachtung der roten Verfärbung auf dem Tape. Für eine präzisere Analyse wird die Bildverarbeitung eingesetzt, bei der Software den Anteil der roten zu weißen Fläche berechnet, um den Flüssigwassergehalt zu quantifizieren.

Die entwickelte Messtechnik zeigt die Fähigkeit, den LWC im Schnee zu erfassen, jedoch ist die Präzision und Genauigkeit der Messungen noch nicht ausreichend, um den Sensor als marktfähiges Produkt zu etablieren. Weitere Optimierungen und umfangreiche Tests sind erforderlich, um die Zuverlässigkeit und Praktikabilität des Sensors zu gewährleisten. Die Ergebnisse dieser Arbeit liefern einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung von Messmethoden für den LWC im Schnee und könnten zukünftig zur Verbesserung der Vorhersage und Prävention von Gleitschneelawinen beitragen.

Beschreibung der Abkürzungen

BA	Bachelorarbeit
LWC	Liquid Water Content
SLF	Schweizerisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung
IPEK	Institut für Produktentwicklung
TRL	Technology Readiness Level
ML	Maschinelles Lernen
IR	Infra Rot
FDM	Fused Deposition Modeling
FS	Fruhlings Semester
OST	Ost schweizer fachhochschule
MHz	mega Herz
GPS	gobal positioning system
Mri	magnetic resonanc imaging
Tape	Water indicator tape 5559 von 3M
CAD	computer aided design
RGB	Rot Grun blau
DB	Daten Bank
xps	extruded polystyrene

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Lawinen in der Schweiz	1
1.2 Entstehung der Gleitschneelawine	1
1.3 User Story	1
1.4 Planung der Arbeit	2
2 Liquid Water Content	2
2.1 Physicalische Prinzipien	2
2.2 Kommerzielle Produkte	4
2.3 Publizierte Methoden	4
3 Vorstudie	4
3.1 Water Indikator Tape	4
3.2 Elektrischer Widerstand	5
3.3 Laser Refraktion und Reflexion	5
3.4 Vibration	8
3.5 Diffusion von Flüssigkeit	8
4 Funktionsmuster	8
4.1 Agiles Hardware Development	9
4.2 Eigenschaften der Varianten	10
4.3 Messablauf	10
4.4 Bildverarbeitung	11
4.5 Extrahieren von Informationen aus Bilddaten	13
4.5.1 Anforderungsanalyse	13
4.5.2 Konzeptueller DB Entwurf	14
4.5.3 Logischer DB Entwurf	14
4.5.4 Views für den Analysten	14
4.5.5 Physischer Entwurf	16
4.5.6 Python-Interaktion mit der Datenbank	16
4.5.7 Nächste Schritte	16
4.6 Widerstand gegen Umwelteinflüsse	16
4.7 Mögliche Gründe der hohen Varianz	17
4.8 Ergebnisse der Versuche	19
4.9 Verbesserungsmöglichkeiten des Funktionsmusters	19
4.10 Vollautomatische Durchführung der Messung	19

5 Fazit	21
5.1 Presönliche Erfahrunng	21
5.2 Fazit	21
6 Ausblick	21
6.1 Endziel des Arbeit	30

1 Einleitung

ziel dieser Arbeit ist die entwicklung eines innovativen sensors um die scheefeuchtigkeit zu messen.

Die schneefeuchtigkeit ist ein entscheidenen Parameter um Gleitschneelawinen abzuschützen. seit 40 Jahren ist wird Thema beforscht. Es gibt verschiedenste Techniken um den Schaum aus Eis, Wasser und Luft zu messen. heutige Produkte konnen den LWC messen, haben aber verschiedene schwerwiegende nachteile.

um dieses Produktentwicklung an zu gehen werden verschiedene techniken der Produktentwicklung eingesetzt. um ein sensor zu erreichen der einsatzfähig ist, wurde nach aglier hardware entwicklung möglichst schnell Iterationen von sensoren entwickelt.

1.1 Lawinen in der Schweiz

Jedes Jahr sterben in der Schweiz durchschnittlich 10 Menschen durch Lawinen, wobei 8 durch Schneebrettlawinen und 2 durch Gleitlawinen verursacht werden. Mit dem Klimawandel ändern sich die Eigenschaften von Gleitlawinen. Diese können nicht präventiv durch Detonation ausgelöst werden und sind zeitlich schwer vorherzusagen.

1.2 Entstehung der Gleitschneelawine

Gleitschneelawinen entstehen, wenn die gesamte Schneedecke auf glattem Untergrund, wie Grashängen oder glatten Felsen, abrutscht. Dies kann sowohl bei trockener, kalter als auch bei nasser, isothermer Schneedecke passieren. Typisch für Gleitschneelawinen ist eine dicke Schneedecke ohne oder mit wenigen Schwachschichten. Diese Lawinenart wird fast ausschließlich natürlich ausgelöst und kündigt sich oft durch Gleitschneerisse an, deren Vorhersage jedoch schwierig ist. Der Auslösemechanismus beruht auf dem Verlust der Reibung zwischen Schnee und Boden aufgrund von flüssigem Wasser. Zur Vermeidung sollte man sich nicht in der Nähe von Gleitschneerissen aufhalten, da diese die Lawinengefahr anzeigen, aber keine unmittelbare Auslösung vorhersagen können.

Die Entstehung von Gleitlawinen ist stark von der Feuchtigkeit im Schnee abhängig. Diese Feuchtigkeit sammelt sich zwischen den Eiskristallen und stammt aus verschiedenen Quellen:

- Schmelzender Schnee, hauptsächlich durch primäre und sekundäre Strahlung.
- Regen, der auf die Schneedecke fällt.
- Feuchtigkeit aus dem Boden, insbesondere aus wasserführenden Schichten.

1.3 User Story

Um die Aufgabe der produktentwicklung besser zu verstehen, wurden User storys geschrieben. In 6.1 sind alle 6 User Storys.

das ziel der Userstorys ist es fruh sich gedanken über das fertige produkt zu machen. Hier ist die User story die das schlussendlichen entwickelten sensor beschreibt.

Alice macht an einem hang einen schedeckenanalyse, mit der schaufeln. neben ihrer subkettiven beurteilung tragt sie noch die messwerte der schneefeuchtigkeit ein.

Die Userstorys beschreiben komplett unterschiedliche Produkte. da ich nicht entscheiden kann oder will, welches die korrekte Anwendung ist, werde ich zu erst die Technologie erkunden und dann die anwendung in ein Produkt finden.

jede weiteren pflichenheft aktivitaten, wie zum beispiel black box, Musskriterien, usw. machen keinen sinn jetzt schon definiert zu werden. da spanneden Entdecknugen währen der arbeit damit eingeschränkt werden.

1.4 Planung der Arbeit

Die Arbeit wird in drei Teile aufgegliedert.

in einer Vorstudie werden unterschiedliche physikalische Prinzipien zur messung des LWC theoritisch und praktisch mit eineander verglichen.

bau den Funktionsmusters. hier wird ein vielversprechendes physikalisches prinzip ausgewählt und ein Funktionsmuster gebaut. dieser teil wird nach agiler hardware Entwicklung mit einem Kanbanboard geplant.

Der dritte Teil wird genutzt um die Dokumentation der Produktentwicklung und Entwicklete Messtechnik beschrieben.

2 Liquid Water Content

thoery

2.1 Physicalische Prinzipien

Bei der Recherche nach physikalischen Prinzipien wurden unterschiedlichse Techniken gefunden. hier ist eine Liste .

v

Direktische Konstante

- bei 20 MHz über eine Platte

- zwischen einer Gabel

- Resonanz in einem Zylinder

Absorption elektromagnetischer Wellen	Thermische Eigenschaften
<ul style="list-style-type: none"> • GPS • Radar • IR • Satellitenaufnahmen • Mikrowellen • Neutronen-Scattering 	<ul style="list-style-type: none"> • Schmelzenergie mit DSC • mit heissem Wasser • mit kalter Flüssigkeit • Heizung (elektrisch, Mikrowelle) • Taupunktspiegel • Leitfähigkeit von warme
akustischer Wellen	Separation
<ul style="list-style-type: none"> • Absorption Ultraschall • Absorption normaler Schall • Lamb-Welle • Emission akustischer Wellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Zentrifuge • Quetschen • Absaugen
Elektrische Eigenschaften	Kapillarkräfte
<ul style="list-style-type: none"> • ohmscher Widerstand 	<ul style="list-style-type: none"> • 5559 Water Indicator Tape
Mechanische Eigenschaften	Staub/Flüssigkeit beim Ausbreiten im Schnee beobachten (optisch, fluoreszent, elektrisch)
<ul style="list-style-type: none"> • Scherkräfte • Dichte • Eigenschwingungen • Vibrationsübertragung • Eindrückwiderstand mit Vibration • Viskosität • Vibrationsbohrer 	<ul style="list-style-type: none"> • Event-Kamera • Oberflächenspannung
Optische Eigenschaften	Sonstiges
<ul style="list-style-type: none"> • Reflexion • Refraktion • Polarimetrie 	<ul style="list-style-type: none"> • optische Beurteilung • Luftfeuchtigkeit verändern • Luftwiderstand • MRI • Nuclear Magnetic Resonance

-
- Raman-Spektroskopie
 - Neutronen-Scattering
 - Infrarot-Spektroskopie

2.2 Kommerzielle Produkte

heute gibt es kommerziell erhältliche Produkte die den LWC von Schnee messen. Die Produkte nutzen die unterschiedlichen dielektrischen Konstanten von Wasser. Hierzu erwähnen sind der SLF Snow Sensor auch Denometer genannt und die Finnish snow fork. Sensoren aus Agrikulturbereich die die Bodenfeuchtigkeit messen, sind auch im Schnee einsetzbar.

Ein Nachteil der Produkte ist, dass um auf einen prozentualen LWC zu kommen, die Dichte des Schnees separat gemessen werden muss. Die raumliche Auflösung der Produkte ist im Bereich von centimetern.

2.3 Publizierte Methoden

3 Vorstudie

Die Kriterien mit denen ausgewählt wurden waren die folgenden:

- methode nicht schon von anderen Studien gehandelt.
- Eleganz des Prinzips
- Umsetzbarkeit im Rahmen der BA

3.1 Water Indikator Tape

Herkunft: Aus dem Elektronikbereich. Zum Beispiel in Handys. Wenn das Tape rot geworden ist, ist Wasser eingedrungen und der Hersteller kann eine Garantieleistung ablehnen.

Funktionsweise: Das papierbasierte Klebeband wird nass. Die rote Farbe auf der Unterseite des Klebebands blutet durch das weiße obere Papier. Die roten Teile zeigen dann permanent Wasser an.

Auswahl von 5559: Der Hersteller 3M hat mehrere Produkte zu Water Indikator. 5559 zeichnet sich durch die dünneren Dicken und somit durch die schnellere Anzeigegeschwindigkeit aus.

5559i ist auf einem transparenten Substrat, was praktisch für die optische Auswertung wäre. Die Produkte sind in Europa nur teilweise erhältlich. 3M verkauft nur Rollen mit 160 m. Zum Testen wurde eine kleine Rolle von einem Elektronikkomponentenlieferanten gekauft.

Bei der Recherche zu LWC wurde keine Verwendung von Water indicator tapes bemerkt. Somit neuartig.

kostengünstig

zeitspanne pro messung weniger als 60 sek.

Dichte des Schnees muss separat gemessen werden. 5559 zeigt nur das flüssige wasser in einer schicht an.

Testaufbau: 5559 auf etwas rund 200 g schweres kleben. neue Oberfläche von schnee mit Messer abschneiden/freilegen. 5559 auf schnee legen und 10, 30 60, 120 sek warten. foto von klebeband machen. mit python rote vs. weise fläche berechnen. oder nur optisch beurteilen.

3.2 Elektrischer wiederstand

Um den elektrischen wiederstand von schnee zu mesen wurde der Kontaktpunkt ein Leitwertmessgerät mit zwei angewinkelten Stahlplatten modifiziert, um einen guten flachigen kontakt mit dem schnee zu ermöglichen.

Im Feldversuch konnte keine Leitfähigkeit gemessen werden.

Die Hypothese ist, dass sowohl die Verunreinigungen durch die Nuklei des schneus als auch die spontan entstehenden Hydroniumionen keine genügend Leitfähigkeit bilden, um einen Messwert im (Siemens = 1/) Bereich zu messen.

Eine Erweiterung dieser Messung wäre, dem Schnee einen Stoff zuzugeben, der gut leitfähig ist. Dann wird der Versuchsaufbau mehr in die Richtung ?? gehen, wo die Ausbreitung eines Stoffes im Schnee beobachtet wird. Hier wäre diese Beobachtung dann über die Leitfähigkeit und nicht wie in ?? optisch.

3.3 Laser Refraktion und Reflektion

Funktionsweise Mit einem Laser wird der Schnee sowohl durchleuchtet für die Refraktion als auch angeleuchtet für die Reflexion. Flüssiges Wasser bildet aufgrund seiner Oberflächenspannung konkave Linsen auf den Prismen der Eiskristalle. Die Grösse und damit die Brennweite ändern sich je nach dem, wie viel Volumen Wasser auf den Eiskristallen ist. Die Effekte der Linsen sollten in der Refraktion sichtbar werden.

In der Reflexion ändert sich mit änderndem LWC auch die Oberfläche, an der das Licht gespiegelt wird. Der TRL für Refraktion und Reflexion ist bei 2.

Beispiele in anderen Sektoren RRefraktion wird in der Kristallografie angewendet. Die Reflexion wird bei einem Auflichtmikroskop fast immer angewendet wird. Die Reflexion von Wasser an einer Glasscheibe wird genutzt, um bei Autos Niederschlag auf der Windschutzscheibe zu messen. In den drei Fällen ist das TRL 9.

Literatur zu Reflexion Die Publikation [<empty citation>] hat den LWC mit der Reflexion von IR-EM Wellen bestimmt.



Abbildung 1: Versuchsaufbau der Laser Reflexion und Refraktion

Benutzte Mittel für den Versuchsaufbau Als Laserquelle wurde ein grüner Bosch Quingo Kreuzlaser genutzt. Um sowohl die Reflexion als auch die Refraktion gleichzeitig zu sehen, wurde die Schneeprobe auf einen Mikroskopier-Objektträger platziert. Die Ergebnisse des Lasers wurden jeweils auf weissem Druckpapier dargestellt. Die Refraktion wird auf dem Papier an der Unterseite der Holzplatte dargestellt. Mit dem Fairphone 3 wurde eine Videoaufnahme gemacht, wie sich die Ergebnisse des Lasers verändern. Mit einem Kosmetikspiegel wurde sowohl die Reflexion unten als auch die Refraktion oben gleichzeitig in einem Bild dargestellt. Um alle Teile in festen Relationen zu halten, wurde Stativmaterial genutzt.

In Bild 1 ist die Anordnung der Verschieden Teile auf den Stativmaterial zu sehen.

Funktionsweise des Versuchsaufbaus Der Schnee wird im trockenen Zustand bei -10 Grad Celsius aus dem Gefrierschrank auf den gekühlten Objektträger gelegt. Dann wird beobachtet, wie sich die Ergebnisse ändern, wenn der Schnee an der Raumtemperatur schmilzt. Dieser Schmelzvorgang dauerte rund 3 Minuten. Der Laser scheint durch den Objektträger und den Schnee hindurch, dann wird das Licht auf das Papier erneut in die Kamera reflektiert. Die Reflexion geschieht zum einen direkt am Objektträger, als auch danach im Schnee. Dieser Aufbau ist suboptimal, denn die konstante Reflexion des Objektträgers muss aus dem Laserergebnis herausgerechnet werden. Um Störlicht zu minimieren, wurde zuerst eine

Einhausung geplant. Der durchgeführte Versuch hat dann aber einfach in einem abgedunkelten Raum stattgefunden.

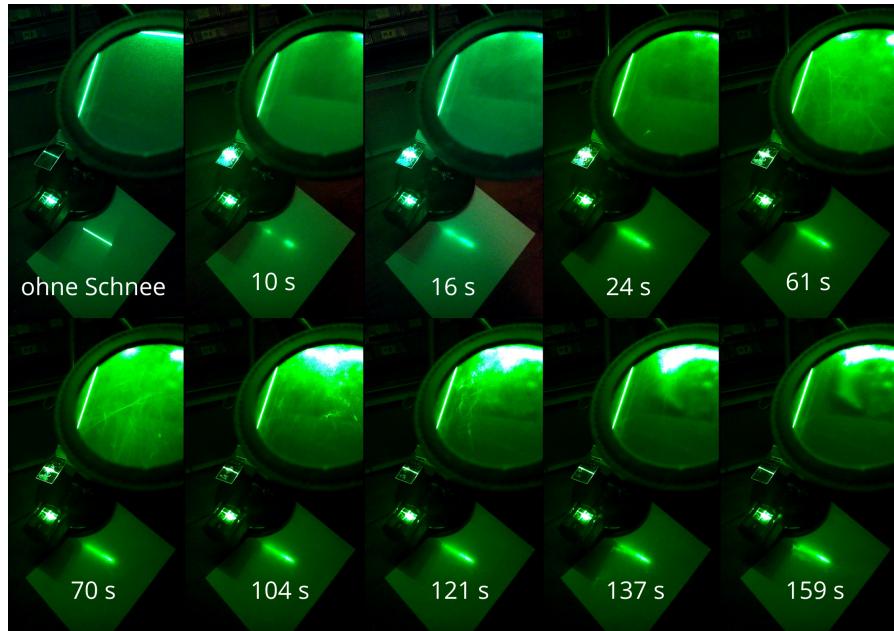


Abbildung 2: Messgrößen für die Reflexion und Refraktion, Veränderung über Zeit

Messgrößen Die Anhäufungen von Licht und die Intensität können begutachtet werden.

Versuchsergebnisse Im Bild 2 ist die Reflexion und Refraktion des Objektträgers sichtbar. Diese konstanten Werte müssen von allen Ergebnissen subtrahiert werden.

Aussagekraft der Ergebnisse über den LWC Die Ergebnisse werden direkt von Wasser beeinflusst. Um den Gewichts-LWC zu erhalten, ist aber die Geometrie der Eiskristalle von extremer Bedeutung. Daher ist das Ergebnis nicht direkt mit den LWC überführbar. Mit der 3D-Geometrie der Kristalle wäre die Aussagekraft besser.

Reflexion zum Versuchsaufbau Da zwei Techniken gleichzeitig gemessen wurden, war der Versuchsaufbau nicht optimal für beide Messgrößen. Mit den Ergebnissen der Refraktion bin ich sehr zufrieden. Es ist eine klare Veränderung sichtbar.

Verbesserungen des Versuchsaufbaus Um bessere Reflexionsergebnisse zu bekommen, keinen Objektträger nutzen, sondern direkt auf Schnee leuchten. Für eine statische Messung einer Schneeprobe muss die Luft um den Schnee herum gekühlt sein. Ein Ansatz dafür wird im Vorversuch 3.5 umgesetzt. Mit dem Laser

wird Energie in den Schnee eingebracht. Um das Schmelzen und damit Verfälschen des LWC zu minimieren, sollte ein möglichst schwacher Laser eingesetzt werden.

Weiterverfolgung der physikalischen Methoden Das Ergebnis der Refraktion zeigt, dass diese Methode umgesetzt werden könnte. Um vergleichbare Werte zu bekommen, ist die Kristallgeometrie aber von Bedeutung. Die Messung der Geometrie übersteigt das Ausmaß der BA. Um eine Messung durchzuführen, muss eine Schneeprobe durchleuchtet werden. Um das zu erreichen, muss der Schnee physikalisch aus der Schneedecke extrahiert werden. Das ist aufwendig. Daher wird die Refraktion nicht weiterverfolgt. Das Ergebnis der Reflexion ist schwer zu beurteilen. In 2.3 ist die Reflexion von EM-Wellen bereits untersucht worden. Daher wird die Reflexion nicht weiter untersucht.

3.4 Vibration

die hypothese ist, dieses ansatzes ist, dass sich der schnee durch mechanische anregung von seinem Festen in den flüssigen zustand übergeht.

Um die Idee zu testen wird vibrierendes objekt mit hoher dichte auf den schnee gelegt, und es wird beobachtet, wie sich das objekt durch den schnee bewegt.

Die Form wird von dem AvaNode übernommen. Um eine hohe formfreiheit und eine hohe dichte zu erreichen wird der VibraNode aus Ton gebaut. Der ungebrannte Ton wird durch Epoxy harz und Acryl Farbe vor Wasser geschützt. Ein Name, analog zum avanode, ist vibraNode.

Die Testergebnisse sich negativ. der VibraNode konnte trotz seiner Dichte von 1600 kg/m^3 nicht in den schnee eindringen. Der schnee wurde mit flüssigem wasser gesättigt, und hatte

Jetzt stellt sich die frage ob der LWC einen kausalen oder einen korrelativen Zusammenhang mit gleitschneelawinen hat. und wie weit die vorgeschichte des schnees mit betrachtet werden muss.

3.5 Diffusion von Flüssigkeit

mit handy und stereoskop aufbau.

schnee gekühlt, durch Eisring und eisunterlage.

gekühlt ist fast noch besser als perfekt isoliert.

das obere abdeckglas wurde weggelassen, da optisch nicht klar genug.

polarisation von Lichtquelle, oder des reflektierten Lichts hat keinen erkennbaren effekt auf die speckels in der Videoaufnahme.

4 Funktionsmuster

Anstatt die einzelnen Iterationen der Funktionsmuster genau zu beschreiben werde hier nur herasstehende Eigenschaften beschrieben.

1. Iteration Eine neue Messung mit neuem Tape kann gemacht werden, indem das alte feuchte Tape mit einem Wasserdichten klebeband abgedeckt wird. dann kann auf das trockene Klebeband ein neues tape von hand aufgetragen werden.

die optische auswertung kann mit einem Smartphone gemacht werden, somit muss kein extra material mitgenommen werden, denn das smartphone hat noch andere einsetzte.

2. Iteration Die Tapehalter werden mit Elastomeren sicher an die Lichtbox angedruckt. das erlaubt es die lichtbox zu rotieren.

die lichtbox ist in zwei kompartmets aufgeteilt. das erste kompartment ist schwarz um streulicht von ausen zu minimieren. das zweiet kompartmet is in einer hellen farbe um das licht der LED gleichmasiger auf die tapes zu reflektieren.

mit einem innerten gas unter druck, wird der schnee der an dem tape haften bleibt abgeblasen.

Das Tape wird auf eine block auf extrudiertem polystyron (XPS) montiert, so kann der einfluss eines warem tapehalters auf den schnee reduziert werden.

3. Iteration Die gewichte haben markierungen die es erlauben die Probe mit definierten kinetischer energie auf den schnee auf zu bringen.

die gewichte werden 20 cm oberhalb des schwerpunkts von kunststofffuhruungen gehalten. das verhindert, dass ein tape wahrend der messung um kippt.

4. Iteration die lichtbox kann zusammengefaltet werden. das erlaubt einen pratztbaren transport an die versuchsstellet.

Die Beleuchtung der Tapse in der Lichtbox wird mit zwei LED panels und diffusoren gemacht, dadurch werden die taps gleichmasig ausgeleuchtet.

mit kaltemittel und einer warmebildkamera wird sichergestellt, dass die taps keine eigene ware haben die den schnee aufschmelzten.

die gewichte sind modular mit 50 g platten zusammen gesetzt werden. so kann die messung auf einer vielzahl

5. Iteration Um die optische auswertung durch zu fuhren wird ein Rasperry Pi mit dem HQ Kameramodul benutzt. dadurch wird das aufgenomme bild einfacher weiter zu verarbeiten.

die lichtbox ist in einer Kunststoffkiste untergebracht, somit kann das streulicht der umwelt effektiv blokiert werden.

4.1 Agiles Hardware Development

die planung der Arbeit wird mit einem agilen Kanban board gemacht. Ziel ist auch ein agiles hardware development. das heist es wird versucht möglichst schnell zu einem Funktionsmuster zu kommen, und daraus für die nächste Iteration zu lernen.

Um diese schnelle arbeitsweise zu ermöglichen habe ich folgende reihenfolge zur auswahl der fertigungstechniken erstellt.

1. bestehendes Objekt benutzen und modifizieren
2. Karton
3. IR - laser cutter mit Sperrholz
4. 3D Druck, in Fdm
5. teile bestellen
6. selber fertigen (manuell drehen, fräsen, töpfern usw.)
7. extern fertigen lassen.

ein endprodukt wird extern gefertigt werden müssen um die wertigkeit des Produkts an den Benutzer zu vermitteln. Die Seriegrösse wird klein, da es wahrscheinlich kein Kosumerprodukt werden wird. sonder ein forschungsinstrument.

4.2 Eigenschaften der Varianten

4.3 Messablauf

um an möglichst viel schneetypen anwendbar zu sein, ist das andrücken kraftgesteuert. in der vorstudie ?? war die messung weggesteuert.

als einfaches kraft, war die gewichtskraft. um an mehr schnee von puder bis zu hartem zeug. ist 80 % des maximalen tralast des schnees die anpresskraft. mit ca. 50 g blechen kann das gewicht zusammengesetzt werden. das maximal gewicht ist der maximal gemessene wert in dem feldversuch ??

die messung wird wie folgt durchgeföhrt

1. Ein schnee der möglichst homogen und von menschen unbeeinflusst ist finden
2. mit einer schaufel oder ahnlichem wird ein kleiner schneegraben geschaufelt.
3. eine schaubere horizontale flache im schnee mit der blechklinge frei legen
4. das stativmaterial wird im schnee aufgebaut

-
5. mit der federwage oder durch ausprobieren die maximale Traglast des schnees ermitteln
 6. die Gewichte der tape holders zu 80 der maximalen tragnlast des schnees zusammen schrauben
 7. die tape halter aus der zweifachen geschutzten beuteln entnehmen
 8. die tape halter mit den gewichten zusammen steckne
 9. mit den kaltespray die taps runter kuhlen
 10. mit der warmebildkamera überprüfen, ob die tapes die richtige temperatur haben
 11. die tapes auf den schnee vorsichtig aufsetzen
 12. mit dem magnetischen halter die gewichte an das stativmaterial befestigen
 13. 120 sekunden warten so dass das wasser aus dem schnee auf das Tape übergehen kann
 14. mit der durckluft allfallige schneeflocken vom tape entfernen
 15. 300 sekunden warten bis das tape einen stabilen zustand erreicht hat
 16. die tape holders in die lichtbox befestigen
 17. ein bild der taps machen

4.4 Bildverarbeitung

Funktionsweise der Bildverarbeitung

nachdem der bildausschnitt gewählt wurde, wird das bild wird in Grauwerte umgewandelt. mit der RGB Information kann Fehlerkorrektur gemacht werden.

dann wird jeder blob durch einen Kreis mit der gleichen fläche und dem gleichen schwerpunkt ersetzt. auf diesen kreisen kann dann Statistik gemacht werden. die hoppnug ist dass so unterschiedliche geometrieren des schnees abgebildet werden können. in ?? ist der Code der die übersetzung von schwarz weiss bildern zu die kreise in eine Datenbank speichern übernimmt.

die auswahl des bildausschnitts und übersetzung in schwarz weiss ist sematisch in 3 dargestellt.

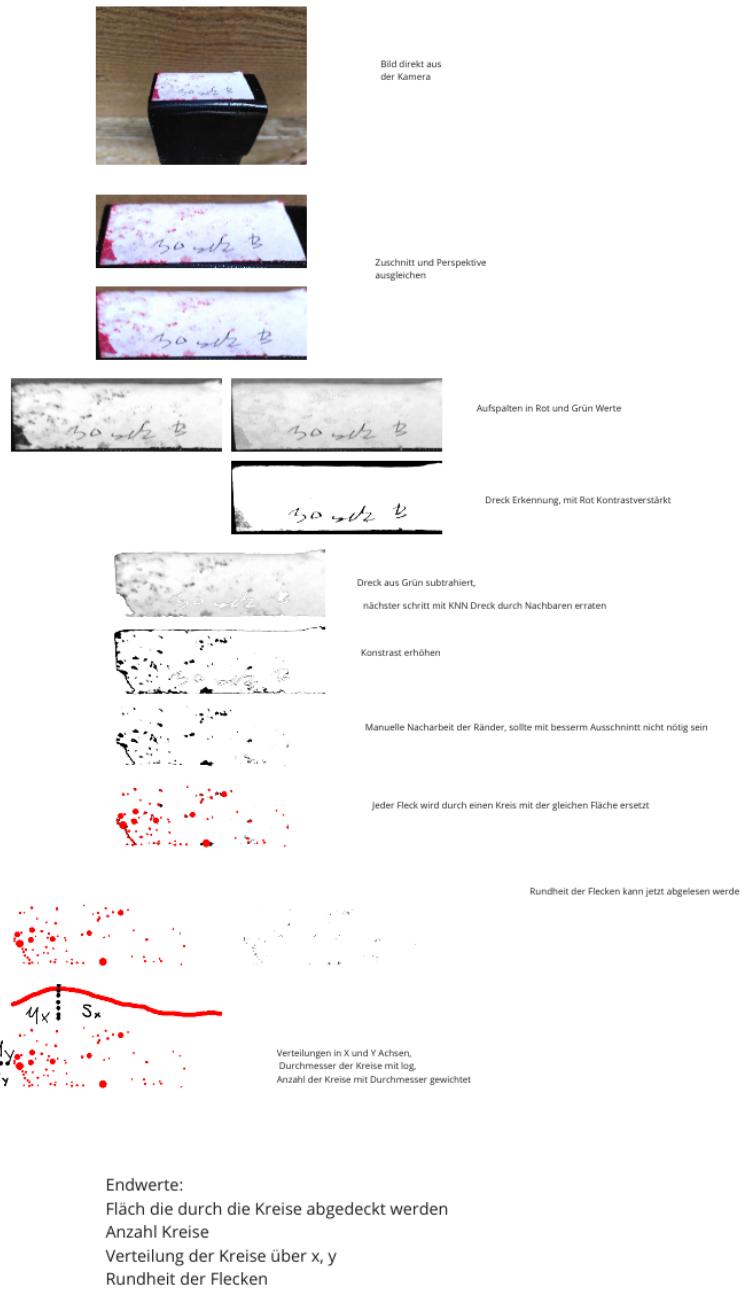


Abbildung 3: Bildverarbeitungskonzept

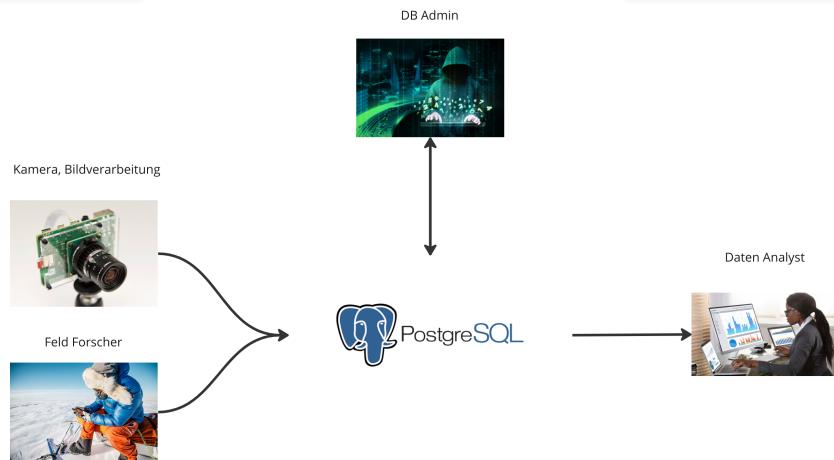


Abbildung 4: Benutzer der Datenbank

4.5 Extrahieren von Informationen aus Bilddaten

Um aus den Bilddaten, die während Feldversuchen gesammelt werden, sinnvolle Erkenntnisse zu gewinnen, ist es entscheidend, die Daten effektiv zu strukturieren. Dazu wird eine Datenbank angelegt. Dies erleichtert die effiziente Speicherung und ermöglicht leistungsstarke Datenabfragefunktionen, wie z. B. das pattern matching, die für eine umfassende Analyse wichtig sind.

Die im Feld gesammelten Daten werden zunächst in der Datenbank gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt analysiert.

Im Folgenden werden die Schritte zur Auslegung der Datenbank dargestellt. Der Code ist in Section 6.1 zu finden.

Die Methode wie die Datenbank hier ausgelegt wird, folgt der Vorlesung Datenbanksysteme 1. [<empty citation>]

4.5.1 Anforderungsanalyse

Die Anforderungen ergeben sich aus der Funktionsweise des Messaufbaus.

Die Datenbank in dieser Bachelorarbeit wird relativ klein sein, da die Feldversuche zeitintensiv sind. Es wird vermutet, dass maximal 1000 Messungen mit jeweils 3 Taps und je 100 Kreisen durchgeführt werden.

Die Datenbank ist grösser angelegt, als sie für die Vorversuche in der Bachelorarbeit benötigt wird.

Es gibt vier Benutzer die mit der Datenbank interagieren. In der Grafik 4 ist die schematische Darstellung.

-
1. Die Kamera, die die Bilder der Taps macht und auswertet, muss die Auswertungen in die Datenbank schreiben.
 2. Der Versuchsdurchführende gibt zusätzliche Informationen über den Versuch an, die er ebenfalls in die Datenbank schreiben muss.
 3. Der Analyst wird die Daten abfragen und hoffentlich Informationen daraus gewinnen.
 4. Der Datenbankadministrator wird im Normalbetrieb nicht benötigt, sollte jedoch berücksichtigt werden.

Die Anforderungen an die Datenbank und ihre Benutzer werden entsprechend den Anforderungen des Messaufbaus und den Bedürfnissen der Benutzer festgelegt.

1

4.5.2 Konzeptueller DB Entwurf

Mit der Unified Modeling Language (UML) wird in 5 die Struktur der Datenbank dargestellt. Diese Darstellung ist noch lösungsunabhängig.

4.5.3 Logischer DB Entwurf

Um die Datenbank zu implementieren, wurde PostgreSQL gewählt. Es ist ein Free und Open-Source-System, das neue Features wie zum Beispiel JSON-Datentypen unterstützt.

Der folgende SQL-Code initialisiert die Datenbank: 2

4.5.4 Views für den Analysten

Das Endziel besteht darin, eine Regression aus den Messungen und Taps zu erstellen, um den 'LWC Denoth' zu bestimmen. Für diese Aufgabe sind höchstwahrscheinlich nur bestimmte Angaben aus der Datenbank erforderlich.

Hier werden zwei Views erstellt: Der erste ist ein minimalistischer Ansatz, mit dem direkt weitergearbeitet werden kann. Der zweite View dient dazu, genauer zu verstehen, was in dem ersten View dargestellt ist.

Da die Ansichten für den read only Analysten bestimmt sind, muss keine aktualisierbarer View erstellt werden.

3

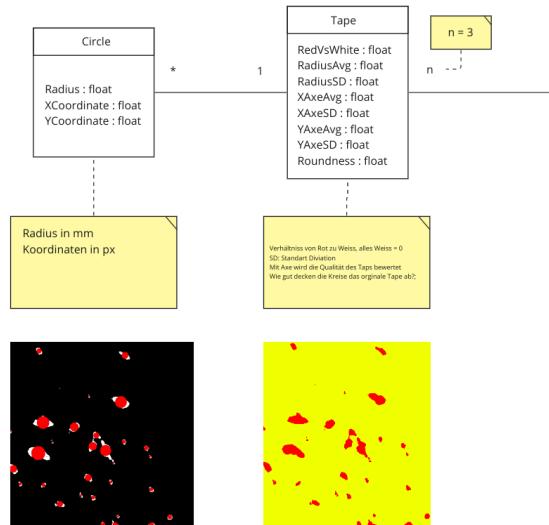
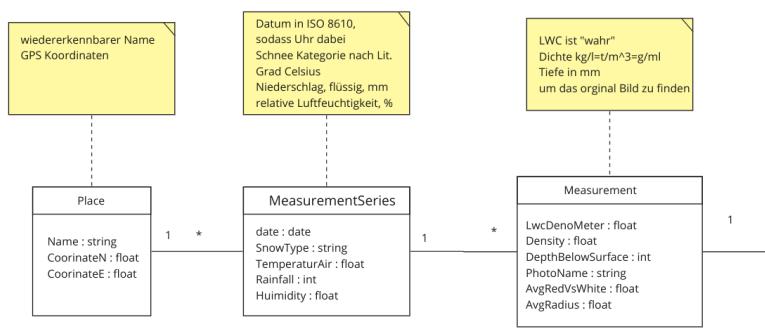


Abbildung 5: UML-Diagramm des konzeptuellen DB-Entwurfs

4.5.5 Physischer Entwurf

Für die Beispieldaten wurden Daten aus der Vorstudie ?? für eine Messung verwendet.

Die Datenbank wird anfangs viele NULL-Werte enthalten, da beispielsweise die Wetterdaten nicht von einer API gefüllt werden.

Die Transaktionen sind in dieser Anwendung unproblematisch, da der Benutzer, der die Inserts durchführt (Raspberry, Feldforscher), zu einem früheren Zeitpunkt arbeitet als der Analyst.

Falls die Datenbank von meinem Laptop auf einen Server ausgelagert wird, werden die folgenden Tools zur Sicherheitsprüfung verwendet: www.owasp.org und <http://sqlmap.org/>.

4.5.6 Python-Interaktion mit der Datenbank

Für die Interaktion mit der Datenbank werden verschiedene Python-Skripte verwendet, die je nach Benutzer unterschiedliche Aufgaben erfüllen.

Das folgende Python-Skript ist dazu da Bilder von Taps zu analysieren und die daraus gewonnenen Daten in die Datenbank einzufügen. 5

Das nächste Python-Skript wird interaktiv vom Versuchsleiter verwendet. Zur Zeit ruft das Skript auch noch die Bildanalyse auf. 6

4.5.7 Nächste Schritte

Die Python-Programme sollten weiterentwickelt werden, um sämtliche verfügbaren Daten in der Datenbank zu nutzen und um die Funktionalität zu verbessern.

Aktuell läuft die Datenbank mit dem Benutzer Postgres auf einem Laptop. Eine Auslagerung auf einen Server ist derzeit keine Priorität, da dies mit Sicherheitsrisiken verbunden ist. Das Hauptziel dieser Produktentwicklungs Bachelorarbeit besteht darin, das Verhalten des Taps zu verstehen. Sobald dieses Ziel erreicht ist, können weitere Schritte zur Optimierung und Sicherung der Datenbankinfrastruktur unternommen werden.

Sobald die Feldversuche durchgeführt worden sind, wird sich die DB an die tatzächliche Nutzung noch anpassen.

4.6 Widerstand gegen Umwelteinflüsse

bei einer vorbehandlung mit einem Lösungsmittel, getestet wurde Isopropanol, Nitro verdünner und Aceton, verfärbt sich das tape temporärt. nachdem das Lösungsmittel abgedampf ist, ist eine veränderung am Tape mehr sichtbar. wenn das tape nun mit wasser aktiviert wird, kann beobachtet werden wie die vorbehandelten bereiche die feuchtigkeit stärker anzeigen.

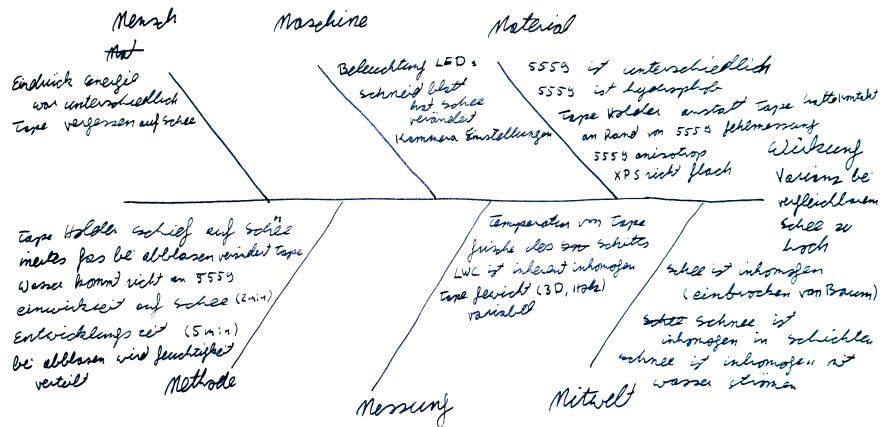


Abbildung 6: Ishikawa Fehler Analyse für die Messung des Funktionsmusters 2

Die Kältemittel aus ?? haben ebenfalls das tape temporär verfärbt, hier wurde keine wasseranzeige veränderung beobachtet.

bei wärmeeinwirkung einer heisluftpistole, hat sich zum einen der Klebstoff gelöst und das weisse papier des tapes wurde braun. die bereiche des tapes die noch weiss waren, haben bei wasser noch immer gut reagiert. der braune teil hat kein wasser mehr anzeigen können.

4.7 Mögliche Gründe der hohen Varianz

in der messung in davos ??

In dem Bild ?? wurde Schnee in einem 0.2 m^2 Flächegemessen. Zielwares die Varianz von vergleich mit ishiyaw ?? wurde das Problem der hohen varianz genauer analysiert.
die wichtigsten Einflüsse sind

- das Tap ist anisotrop, durch die Herstellung. das ist besonders auffällig an den Rändern. die Lösung wurde in 3 schon intuitiv benutzt. Der Rand (etwa 2 mm) soll nicht beachtet werden. der bildausschnitt wird in Zukunft so gewählt, dass der Rand nicht im Bild ist.
- das tap hat einen schlechten kontakt zum wasser auf dem schnee. um diese hypothese zu überprüfen wurde der Winkel eines wassertropfens auf dem

tape gemessen. mit einem winkel von 90 grad ist das tap genau zwischen hydrophob und hydrophil.

- die beleuchtung war nicht homogen. deswegen werden zeit LEDs mit difusoren in dem nächsten ?? funktionsmuster verbaut.
- die tape holder standen nicht genau senkrecht. deswegen wurde die führung mit den magnet bögen und stativmaterial gebaut.
- die eindrückenergie war inkostistent. deswegen wurden die haupzahl der veruche ohne extra energie durchgeführt. bei dem durchgang mit energie wurde das stativmaterial benutzt um eine gleiche Potentielle energie sicher zu stellen.
- der tapeholder und nicht das tape hatten kontakt zum schnee. deswegen wurde der neue tapeholder umkonstruiert sodass 40 mm nur der XPS schaumstoff mit dem tape in den schnee eindringen kann.
- der XPS schaumstoff ist nicht flach. deswegen wurde eine schneidlehre gebaut um den XPS senkrecht zu schneiden. weiter möglichkeiten wären eine Glassplatte (mikroskop objektivtrager) zwischen den XPS und das Tape zu machen. Oder ein plastisch verformbaren träger für das tape zu entwickeln.
- die temperatur des tapes war vor dem schneekontakt die umgebungstemperatur (viel). deswegen wurde jedes tape runtergekühlt und mit der wärem bildkamera überprüft.
- die gewichte der tape holders war um rund 10 % unterschiedlich, denn es wurden verschiedene Versionen benutzt. die neue hat nur eine einzieg version an tape holders.
- der schnee ist inhomogen. die messung war unter einem baum, von dem schnee und eis runter gefallet war. das hat dazu geführt, dass im schnee centimeter grosse einregionen waren.
- der schnee ist inhomogen in schichten. im den nächsten messunng wurde ein weniger geschichteter schnee gewählt.
- der schnee ist inhomogen mit wasser störmten. die messung in davos war in der nähe eines Baches. die nächste messung wurde ein homogener schnee gewählt.
- die ebende auf der das tape geklebt ist, ist nicht eben, sondern beim transpornt eingedrückt worden. um das problem zu reduzieren wurden Pelican Boxen für den Transport benutzt.

weiter mögliche gründe und die sturktiurung der Gründe können im Ishikawa Diadram gesehen werden. ??

4.8 Ergebnisse der Versuche

erster feldversuch Ziel: testen des ablaufs der tap, mit drei verschiedenen LWC um den LWC zu beeinflussen, zum einem Wasser über den schnee ausschütten, dann messen.

zum anderen mit Kältespray den schnee einfrieren, dann soll der LWC sehr tief sein. Wärmebildaufnahme der gekühlten Schneestell.

der schnee hat sich nur sehr langsam wieder aufgewärmt, da schnee sehr gut isoliert.

durchgeführt am 2024-04-11 in davos, einige meter hoch auf der schatten tal seite. Messstandort in Davos, unter dem regenschrim ist das Tape gelagert

Ein bild von 'normalem' schnee

schlussfolgerungen: schneedreieck funktioniert bei inhomogenem schnee mit eis nicht. handlich aufwendig, belichtung einseitig, gewichte kommen auf der schablone sich in den weg,

zweiter Feldversuch Ziel: neues design. variabler (höherer) anpressdruck, vergleich mit denothmeter

Ich bin sehr zu frieden mit diesen ergebnissen. die technologie des 5999 water indicator taps haben einen TRL von 9 um Qualitätssicherung zu machen. Um den LWC von Schnee zu messen befand sich das 5999 am anfang dieser Arbeit bei TRL 1, mit diesen versuchen hat das 5999 den TRL 5 erreicht.

4.9 Verbesserungsmöglichkeiten des Funktionsmusters

die geometrie des tapes ist

zwischen dem tape und dem gewicht kann ein flexibler schaumstoff eingesetzt werden, so konnte sich das tape an die unregemasigkeit des schnees besser anpassen.

das tape kann mit einer membran an der schnee gedruckt werden. so kann auf die kraft praktischer kontroliert werden. schwerkraft ist nicht praktisch um eine vollautomatisches produkt zu entwickeln.

die geometrie des harten xps schaums konnte durch eine Kegel ersetzt werden, so kann eine andere andruckkraft erreicht werden.

4.10 Vollautomatische Durchführung der Messung

um die grossen datenmengen die für ein robustes ML aus ?? benötigt werden liefern zu könne, muss die Messung die teure menschliche Arbeitszeit drastisch

reduzieren. Die Vorstudien in ?? waren rund 9 h Arbeitszeit und haben rund 50 LWCTape und 6 LWCDenoth geliefert.

Ein grosser vortei des Taps ist die feine ortiliche auflösung von 20x20 mm. Um diese feine auflösung zu nutzte ist es spannend durch die Höhe der schneedecke die messungen durch zu führen.

in den kleinen vorvesuchen und den funktiosmuster ist die idee, dass ein Feldvorscher einen schneegraben gräbt und so zugang an die unterschiedlichen schichten das schnees hat.

das graben eines schneegraben ist aufwendig und sollte daher vermieden werden.

eine mögilchketi sit das der feldvorscher mit einer bohrvmaschiene ein roch in den schnee macht. dann kann der feldvorscher das messsystem in das loch herablassen, das kontinuierlich eine messung durchführt, während es herab gelassen wird.

es ist auch mögilch, dass das Messsystem über den sommer an stategisch gewählten orten aufgebaut wird und es dann eingeschneit wird. hier ist die schwierigkeit an genügent 'ungetesteten' guten schnee dran zu kommen um eine feine zeitliche auflösung zu ermöglichen.

mit einem vorstudie kann überprüft werden wie sich schnee verhält, wenn der schnee ein zweites mal getestet wird, nud wie lange es braucht, bis sich der schnee vom test erholt hat. wenn mit wenig anpressdruck gearbeitet wird kann ich mir vorstellen, dass sich der schnee schnell erholt. das würde diesem Konzept massiv vereinfachen.

ein weiters Konzept ist, dass von einem helikopter aus das messsystem abgeworfen wird. durch die kinetische energie schlägt das messsystem dann durch die schneedecke. in einer zweiten phase wird dann das tap an den schnee angepresst und die daten drothlos an in die Datenbank aus ?? eingespeist.

Um den anpressdruck seitlich ausüben zu können funktioniert die schwerkraft nicht mehr. Elastomere sind bei tiefen temperaturen schwer einzuschätzen. ein elektormotor ist möglich, aber etwas mühsam mit der batterie. eine blatfeder, oder kompressionsfeder sind vielversprechende varianten.

5 Fazit

lovly

5.1 Presönliche Erfahrunng

ich hatte freide mich in das mir unbekannte thema des schnees ein zu arbeiten. die arbeit hat mir einen kleinen Einblick in den schnee gegeben, das thema des schnees wird für die schweiz in den kommenden Jahren mit den klimawanden an bedeutung gewinnen.

die agile hardware developmet methode liegt mir und es hat freude bereitet 5 Iterationen des produktes in der hand zu haben und zu testen.

5.2 Fazit

Die Erkenntnisse und Ergebnisse dieser Arbeit bieten eine solide Grundlage für zukünftige Entwicklungen und Forschungen im Bereich der Schneemessung. Die erfolgreiche Umsetzung des 5999 Water Indicator Taps auf ein TRL von 5 hat gezeigt, dass das Konzept vielversprechend ist und weiterhin potenzielle Verbesserungen und Anpassungen ermöglicht.

6 Ausblick

Der weitere Verlauf der Forschung sollte darauf abzielen, die Präzision und Genauigkeit der Schneemessung zu erhöhen sowie die Anwendbarkeit des Systems in verschiedenen Umgebungen zu testen. Dabei sollten auch mögliche Verbesserungen im Hinblick auf die Automatisierung der Messungen und die Reduzierung des Arbeitsaufwands berücksichtigt werden.

Eine entscheidende Fragestellung besteht darin, die beobachtete Varianz in den Messungen zu verstehen. Es ist wichtig zu klären, ob diese Varianz auf Unterschiede im Liquid Water Content (LWC) des Schnees zurückzuführen ist oder ob sie einen Effekt der Messung selbst darstellt. Um eine statistisch fundierte Aussage treffen zu können, sollten über 30 Messungen von vergleichbaren Schneeproben durchgeführt werden.

Um die statistische Basis der Datenbank zu verbessern, müssen mehr als 1000 Messungen mit dem Tape und etablierten LWC-Messwerten durchgeführt werden. Dadurch können die Daten analysiert, validiert und das Messsystem weiterentwickelt werden.

Der weitere Verlauf der Forschung sollte darauf abzielen, die Präzision und Genauigkeit der Schneemessung zu erhöhen sowie die Anwendbarkeit des Systems in

verschiedenen Umgebungen zu testen. Dabei sollten auch mögliche Verbesserungen im Hinblick auf die Automatisierung der Messungen und die Reduzierung des Arbeitsaufwands berücksichtigt werden.

Als entscheidung soll die beobachte varianz in den messungen verstanden werden. ist es eine varianz im LWC des schnees oder ein effeckt der messung. um eine statistisch fundierte aussage zu machen, sollen über 30 messungen von vergleichbaren schnees gemacht werden.

um die statistik für die die grundlage mit der datenbank gelegt wurde, sind rund 1000 messungen mit sowohl tape als auche eine etablieretn messwerte des lwcs

Danksagung

Ein herzliches Dankeschön geht an Christine Kuhn, den Werkstattverein Core-dump und das Werkzeughaus für ihre Unterstützung. Ich möchte mich auch beim IPEK, insbesondere bei Herrn Loichinger und Herrn Locher, bedanken. Ein besonderer Dank gilt meinen Mitstudierenden Oliver, Florian, Julian und Joel, die stets ein offenes Ohr für mich hatten.

Literaturverzeichnis

Für die Präsentation und das Abstact wurden ChatGPT 3.5, ChatGPT-4o und em_{german}_{mistrall}, 01.Q40.gguffurstlistische, garatiskalische und recschrbeieskorrekturenbenutz [22] [23] [24] [25] [26] [27] [29] [31] [30] [32] [33] [34] [28] [35] [36] [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21]

Literatur

Literatur

- [1] Citavi. URL: <https://www.snowathome.com/product/sg6-xstream-snowmaker/> (besucht am 11.04.2024).
- [2] Citavi. URL: <https://www.instructables.com/Home-Snowmaker-Snowgun-internal-mix/> (besucht am 11.04.2024).
- [3] Citavi. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Joule%20Thomson_effect (besucht am 11.04.2024).
- [4] Citavi. URL: <https://miro.com/app/board/uXjVNqJWvys=/?moveToWidget=3458764579769300787&cot=14> (besucht am 11.04.2024).
- [5] Citavi. URL: <https://www.popularmechanics.com/adventure/outdoors/a26016338/how-to-make-fake-snow/> (besucht am 11.04.2024).
- [6] Citavi. URL: https://above.nasa.gov/files/snowex_2020/Webb_Day2_Poster_885.pdf (besucht am 11.04.2024).
- [7] Citavi. URL: https://snow.nasa.gov/sites/default/files/Zhang_080917_15_Snow%20Density%20Comparison.pdf (besucht am 11.04.2024).
- [8] Citavi. URL: https://www.eoas.ubc.ca/courses/atsc113/snow/met_concepts/07-met_concepts/07b-newly-fallen-snow-density/ (besucht am 11.04.2024).
- [9] Citavi. URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/seppyo1941/64/4/64_4_443/_pdf (besucht am 11.04.2024).
- [10] Citavi. URL: <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1391-snow-and-ice-density> (besucht am 11.04.2024).
- [11] Citavi. URL: <https://www.proquest.com/docview/2515698986?20Theses&fromopenview=true&pq-origsite=gscholar&sourcetype=Dissertations%20&parentSessionId=IvIK4xLnFrXKhXxv6CazyhndGZWGa0i7vbpgpqZE3MI%3D> (besucht am 11.04.2024).

-
- [12] Citavi. URL: https://above.nasa.gov/files/snowex_2020/Webb_Day2_Poster_885.pdf (besucht am 11.04.2024).
 - [13] Citavi. URL: <https://www.mt.com/shop/us/en/product/30474902/density-meter-excellence-d6> (besucht am 11.04.2024).
 - [14] Citavi. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25161535> (besucht am 11.04.2024).
 - [15] Citavi. URL: <https://www.micro-dehumidifier.com/products/product-range-overview/> (besucht am 11.04.2024).
 - [16] Citavi. URL: <https://www.kennedylabs.tech/download/KLG-GOP0-8> (besucht am 11.04.2024).
 - [17] Citavi. URL: <https://a2photronicsensors.com/wise-sensor-liquid-water-content-snow/> (besucht am 11.04.2024).
 - [18] Citavi. URL: <https://www.ilmsens.com/short-range-radar/> (besucht am 11.04.2024).
 - [19] Citavi. URL: <https://www.mouser.ch/new/sensirion/sensirion-sht4xa-sensors/> (besucht am 11.04.2024).
 - [20] Citavi. URL: <https://www.ilmsens.com/impedance-spectroscopy/> (besucht am 11.04.2024).
 - [21] Citavi. URL: <https://www.slf.ch/en/> (besucht am 11.04.2024).
 - [22] Ahmed Abdelaal u. a. “A flexible surface-mountable sensor for ice detection and non-destructive measurement of liquid water content in snow”. In: *Cold Regions Science and Technology* 195 (2022), S. 103469. ISSN: 0165232X. DOI: \url{10.1016/j.coldregions.2021.103469}.
 - [23] Satoru Adachi u. a. “Application of a Magnetic Resonance Imaging Method for Nondestructive, Three-Dimensional, High-Resolution Measurement of the Water Content of Wet Snow Samples”. In: *Frontiers in Earth Science* 8 (2020). DOI: \url{10.3389/feart.2020.00179}.
 - [24] Sayed Ul Alam Shibly u. a. “Experimental Estimation of Membrane Tension Induced by Osmotic Pressure”. In: *Biophysical journal* 112.6 (2017), S. 1290. DOI: \url{10.1016/j.bpj.2017.03.001}.
 - [25] Randall Bonnell u. a. “Spatiotemporal Variations in Liquid Water Content in a Seasonal Snowpack: Implications for Radar Remote Sensing”. In: *Remote Sensing* 13.21 (2021), S. 4223. DOI: \url{10.3390/rs13214223}.

-
- [26] Christopher Donahue, S. McKenzie Skiles und Kevin Hammonds. "Mapping liquid water content in snow at the millimeter scale: an intercomparison of mixed-phase optical property models using hyperspectral imaging and in situ measurements". In: *The Cryosphere* 16.1 (2022), S. 43–59. DOI: \url{10.5194/tc-16-43-2022}.
 - [27] D. Fasani, F. Cernuschi und L.P.M. Colombo. "Calorimetric determination of wet snow liquid water content: The effect of test conditions on the calorimeter constant and its impact on the measurement uncertainty". In: *Cold Regions Science and Technology* 214 (2023), S. 103959. ISSN: 0165232X. DOI: \url{10.1016/j.coldregions.2023.103959}.
 - [28] Jiansheng Hao u. a. "Performance of snow density measurement systems in snow stratigraphies". In: *Hydrology Research* 52.4 (2021), S. 834–846. ISSN: 0029-1277. DOI: \url{10.2166/nh.2021.133}.
 - [29] N. J. Kinar und J. W. Pomeroy. "Determining snow water equivalent by acoustic sounding". In: *Hydrological Processes* 21.19 (2007), S. 2623–2640. ISSN: 0885-6087. DOI: \url{10.1002/hyp.6793}.
 - [30] Franziska Koch u. a. "Measuring Snow Liquid Water Content with Low-Cost GPS Receivers". In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 14.11 (2014), S. 20975–20999. DOI: \url{10.3390/s141120975}.
 - [31] Franziska Koch u. a. "Retrieval of Snow Water Equivalent, Liquid Water Content, and Snow Height of Dry and Wet Snow by Combining GPS Signal Attenuation and Time Delay". In: *Water Resources Research* 55.5 (2019), S. 4465–4487. ISSN: 0043-1397. DOI: \url{10.1029/2018WR024431}.
 - [32] Michael Lombardo u. a. "A method for imaging water transport in soil–snow systems with neutron radiography". In: *Annals of Glaciology* (2023), S. 1–10. ISSN: 0260-3055. DOI: \url{10.1017/aog.2023.65}.
 - [33] Alex Mavrovic u. a. "Snow liquid water content measurement using an open-ended coaxial probe (OECP)". In: *Cold Regions Science and Technology* 171 (2020), S. 102958. ISSN: 0165232X. DOI: \url{10.1016/j.coldregions.2019.102958}.
 - [34] Anna Nowogrodzki. "The world's strongest MRI machines are pushing human imaging to new limits". In: *Nature* 563.7729 (2018), S. 24–26. DOI: \url{10.1038/d41586-018-07182-7}.
 - [35] Carlos L. Pérez Díaz u. a. "Proof of Concept: Development of Snow Liquid Water Content Profiler Using CS650 Reflectometers at Caribou, ME, USA". In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 17.3 (2017). DOI: \url{10.3390/s17030647}.

-
- [36] Satoru Yamaguchi, Satoru Adachi und Sojiro Sunako. "A novel method to visualize liquid distribution in snow: superimposition of MRI and X-ray CT images". In: *Annals of Glaciology* (2023), S. 1–11. ISSN: 0260-3055. DOI: \url{10.1017/aog.2023.77}.

Erklärung zur Urheberschaft

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne Hilfe Dritter angefertigt habe. Ich habe nur die Hilfsmittel benutzt, die ich angegeben habe. Gedanken, die ich aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommen habe, sind kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

KI-Einsatz ohne Kennzeichnungspflicht

Ich bin mir bewusst, dass die Nutzung maschinell generierter Texte keine Garantie für die Qualität von Inhalten und Text gewährleistet. Ich versichere daher, dass ich mich textgenerierender KI-Tools lediglich als Hilfsmittel bedient habe und in der vorliegenden Arbeit mein gestalterischer Einfluss überwiegt. Ich verantworte die Übernahme jeglicher von mir verwendeter maschinell generierter Textpassagen vollumfänglich selbst. Ich versichere, dass ich keine KI-Schreibwerkzeuge verwendet habe, deren Nutzung der Prüfer / die Prüferin explizit schriftlich ausgeschlossen hat.

Ort/Datum: Rapperswil, 2024

Unterschrift:

Peter Kuhn

Abbildungsverzeichnis

1	Versuchsaufbau der Laser Reflexion und Refraktion	6
2	Messgrößen für die Reflexion und Refraktion, Veränderung über Zeit	7
3	Bildverarbeitungskonzept	12
4	Benutzer der Datenbank	13
5	UML-Diagramm des konzeptuellen DB-Entwurfs	15
6	Ishikawa Fehler Analyse für die Messung des Funktionsmusters 2 . .	17

Tabellenverzeichnis

Digitaler Anhang

6.1 Endziel des Arbeit

verringerung des Schadens durch Gleitlawinen

User Storys

Alice macht an einem hang einen schedeckenanalyse, mit der schaufeln. neben ihrer subkektiven beurteilung tragt sie noch die messwerte der schneefeuchtigkeit ein.

bob sitzt an seine comupter und sieht eine warnung aufleuchte. er furt sofort be der ratischen bahn an und kann den zo so stoppen bevor er von der lawine erfasst wird.

celebor macht eine neue simulation um die vorhersage der scheefeuchtigkeit asu den meteodaten zu machen. dasu benutzt er die neue trainsdaten die vergangene jaher gemessen werden.

dorothe weiss nicht ob sie auf desem hang enie abfahr wagen soll. sie schaut schnell die scheefeuchtigkeit an und kann sicher den hang abfahern.

ernst wirft aus dem helikopter das sesor paket um den hang zu überwachen. In sechs monaten wird das paket im abgetauten hang wieder eingesammelt.

gido trainriet ein reinforced ML modell auf bildern von schneeflocken. dazu braucht er hochauflösende bilder und den dazugehörigen LWC der probe.

Anforderungen

hier wird eine list erstellt an anforderungen die das fertige produkt erreichen soll. In der Arbeit hat sich herausgestellt, dass die Entwicklung noch nich mit diese Anfordurungen bewerten werden kann. Es wurde auf die Verhalten der messmehode mit schnee fokussiert.

Die Methode soll einn anzeigen haben, die Feststellen kann wann eine Gleitlawine bevorsteht.

Die Methode soll unabhängig von der Dichte des Schneess funktionieren.

die methode soll den messbereich des LWC von 1 % bis 7 % abdecken.

die methode soll für einen Hang in der Schweiz einsetzbar sein.

diese anford konnte bis zum schluss nur einegschrangkt bestatigt werden. bis die anforderungen getestet werden können braucht es noch Intergration der einzelteile der funktionsmuster und eine datengrundlage von mindesten 1000 messungen um aussagekraftige statiskt machen zu können.

Lebenslauf

Personalien

Peter Kuhn
Webergasse 16
8640 Rapperswil
078 707 12 46 (Mobil)
043 268 55 87 (Festnetz)
peter.jo.kuhn@gmail.com



Bildung

1998.06.17 geboren
2005 - 2011 Primarschule
2011 - 2013 Langzeit Gymnasium Kantonsschule Zürcher Oberland
2013 - 2017 Kurzzeit Gymnasium Math. Naturwiss. Gym. Rämibühl
2017 - 2018 Zivildienst
2018 - 2020 Mathematik Studium ETH Zürich
2021 - jetzt Maschinenbau und Innovation Studium an der OST
Maturarbeit

Sprachen

- Deutsch (Muttersprache)
- Englisch (sehr gut schriftlich und mündlich)
- Italienisch (gut mündlich)

Programmiersprachen

C++, Java, Python,
JavaScript, Bash, Matlab, html/css, Mysql, Excel

Fähigkeiten

Führerausweis Kat. B
Aktives Mitglied von Velove,
einer von Studenten geleiteten Velo Werkstatt

Sport

Mountainbike
Rennvelo
Schwimmen

Code

Listing 1: SQL-Code für die Benutzerinitialisierung

```
-- Prevent default role PUBLIC from creating tables:
REVOKE CREATE ON SCHEMA public FROM PUBLIC;

CREATE USER RaspberryKamera WITH PASSWORD 'abscaaksd.tt33' NOINHERIT;
-- Grant insert and update permissions on specific tables
GRANT INSERT ON TABLE Kreis TO RaspberryKamera;
GRANT INSERT ON TABLE Messung TO RaspberryKamera;
GRANT INSERT, SELECT ON TABLE Tape TO RaspberryKamera;

CREATE USER Feldversuch WITH PASSWORD 'bsacauxiaxbc222/' NOINHERIT;
-- Grant insert permissions on specific tables
GRANT INSERT, SELECT ON TABLE Messung TO Feldversuch;
GRANT INSERT ON TABLE Messreihe TO Feldversuch;
GRANT INSERT ON TABLE Messort TO Feldversuch;

CREATE USER Analyst WITH PASSWORD 'rabgkkaadggg221!' NOINHERIT;
GRANT SELECT ON ALL TABLES IN SCHEMA public TO Analyst;

CREATE USER admin WITH PASSWORD 'sgintyijyj77(';
GRANT ALL PRIVILEGES ON ALL TABLES IN SCHEMA public TO admin WITH GRANT OPTION;
GRANT ALL PRIVILEGES ON ALL SEQUENCES IN SCHEMA public TO admin WITH GRANT OPTION;
GRANT ALL PRIVILEGES ON SCHEMA public TO admin WITH GRANT OPTION;
```

Die pseudozufällige Passwörter sind nicht optimal, besser wäre *SELECT gen_random_uuid()*;

Listing 2: SQL-Code für die DBinitialisierung

```
CREATE DATABASE TapeMessungenBAKuhn;

CREATE TABLE Place (
    id SERIAL PRIMARY KEY,
    Name VARCHAR(255) NOT NULL,
    CoordinateN FLOAT,
    CoordinateE FLOAT
);

CREATE TABLE MeasurementSeries (
    id SERIAL PRIMARY KEY,
    date TIMESTAMP WITH TIME ZONE NOT NULL,
    SnowType VARCHAR(255),
    TemperaturAir FLOAT,
    Rainfall INT,
    Humidity FLOAT,
    -- Foreign Key reference to Messort
```

```

Place_id INT REFERENCES Place(id)
);

CREATE TABLE Measumrment (
    id SERIAL PRIMARY KEY,
    LwcDenothMeter FLOAT,
    Density FLOAT,
    DepthBelowSurface INT NOT NULL,
    PhotoName VARCHAR(255) NOT NULL,
    AvgRedVsWhite FLOAT,
    AvgRadius FLOAT,
    -- Foreign Key reference to MessReihe
    MeasurmentSeries_id INT REFERENCES MeasurmentSeries(id)
);

CREATE TABLE Tape (
    id SERIAL PRIMARY KEY,
    RedVsWhite FLOAT NOT NULL,
    RadiusAvg FLOAT NOT NULL,
    RadiusSD FLOAT NOT NULL,
    XAxeAvg FLOAT NOT NULL,
    XAxeSD FLOAT NOT NULL,
    YAxesAvg FLOAT NOT NULL,
    YAxeSD FLOAT NOT NULL,
    Roundness FLOAT NOT NULL,
    -- Foreign Key reference to Messung
    Measurment_id INT REFERENCES Measurment(id)
);

CREATE TABLE Circle (
    id SERIAL PRIMARY KEY,
    Radius FLOAT NOT NULL,
    XCoordinatne INT NOT NULL,
    YCoordinatne INT NOT NULL,
    -- Foreign Key reference to Tape
    tape_id INT REFERENCES Tape(id)
);

```

Listing 3: SQL-Code für die Views

```

CREATE VIEW Minimal_Messung_Tape_View AS
SELECT m.LwcDenothMeter, t.RedVsWhite, t.AvgRadius
FROM Measurment m
JOIN Tape t ON m.id = t.Measurment_id;

CREATE VIEW Full_Measurement_View AS
SELECT mo.id AS place_id, mo.Name, mo.CoordinateN, mo.CoordinateE,
       mr.id AS MeasurmentSeries_id, mr.Date, mr.SnowType, mr.Temperatur, mr.Rain
       m.id AS messung_id, m.lwcDenothMeter, m.dichte, m.tiefeUnterSchnee, m.bild

```

```
t.id AS tape_id, t.RedVsWhite, t.radiusAvg, t.RadiusSD, t.XAxeAvg, t.XAxeSD
FROM Place mo
JOIN MeasurementSeries mr ON mo.id = mr.Place_id
JOIN Measurement m ON mr.id = m.MeasurementSeries_id
JOIN Tape t ON m.id = t.Measurement_id;
```

Listing 4: SQL-Code für Beispiel Daten

```
INSERT INTO Place (Name, CoordinateN, CoordinateE)
VALUES ('Rothenthurm', 47.1, 8.683333);
```

```
INSERT INTO MeasurementSeries (Datum, SnowType, Temperatur, Rainfall, Humidity, pl)
VALUES ('2024-03-10T15:02:08', 'schneebereigte', 6, 2, 100, 1);
```

Listing 5: Bilderkennung und verarbeitung

```
#!/usr/bin/python

import psycopg2
from config import config
import cv2
import numpy as np
import pandas as pd

def do_image(image_name, Measurement_id): # Accept tape_id as a parameter
    """
    Process an image to detect circles, calculate statistics, and insert data.

    Args:
        image_name (str): The filename of the image to process.
        messung_id (int): The ID of the Messung associated with the circles.

    Returns:
        float: The mean radius of the detected circles.
    """
    df = process_image(image_name)
    mean_radius = perform_statistics(df, Measurement_id)

    tape_id = get_last_tape_id()
    for index, row in df.iterrows():
        insert_data_kreis(row['Radius'], row['X-coordinate'], row['Y-coordinate'],
# Pass tape_id to insert_data
# print(df)
    return mean_radius

# Function to perform statistics on a DataFrame
```

```

def perform_statistics(df, Measurment_id):
    """
    Calculate statistics on a DataFrame containing circle data and insert them into a database.

    Args:
        df (pandas.DataFrame): DataFrame containing circle data.
        messung_id (int): The ID of the Messung associated with the circle.

    Returns:
        float: The mean radius of the detected circles.
    """

    # Calculate mean and standard deviation
    mean_radius = df['Radius'].mean()
    mean_x_coordinate = df['X-coordinate'].mean()
    mean_y_coordinate = df['Y-coordinate'].mean()
    std_radius = df['Radius'].std()
    std_x_coordinate = df['X-coordinate'].std()
    std_y_coordinate = df['Y-coordinate'].std()

    # Insert statistics into the database
    insert_data_tape(mean_radius, mean_x_coordinate, mean_y_coordinate, std_radius, messung_id)

    return mean_radius


def insert_data_tape(mean_radius, mean_x_coordinate, mean_y_coordinate, std_radius, messung_id):
    """
    Insert statistics into the database.

    Args:
        mean_radius (float): Mean radius of detected circles.
        mean_x_coordinate (float): Mean x-coordinate of detected circles.
        mean_y_coordinate (float): Mean y-coordinate of detected circles.
        std_radius (float): Standard deviation of radius of detected circles.
        std_x_coordinate (float): Standard deviation of x-coordinate of detected circles.
        std_y_coordinate (float): Standard deviation of y-coordinate of detected circles.
        messung_id (int): The ID of the Messung associated with the statistics.

    Returns:
        None
    """

    sql = """INSERT INTO tape (radiusavg, xaxeavg, yaxesavg, radiussd, xaxessd, yaxessd) VALUES (%f, %f, %f, %f, %f, %f)"""
    cursor.execute(sql, (mean_radius, mean_x_coordinate, mean_y_coordinate, std_radius, std_x_coordinate, std_y_coordinate))

```

```

        VALUES (%s, %s, %s, %s, %s, %s); """
conn = None
try:
    # Read database configuration
    params = config()
    # Connect to the PostgreSQL database
    conn = psycopg2.connect(**params)
    # Create a new cursor
    cur = conn.cursor()
    # Execute the INSERT statement
    cur.execute(sql, (mean_radius, mean_x_coordinate, mean_y_coordinate))
    # Commit the changes to the database
    conn.commit()
    print("Statistics inserted into the database.")
    # Close communication with the database
    cur.close()
except (Exception, psycopg2.DatabaseError) as error:
    print(error)
finally:
    if conn is not None:
        conn.close()
# Function to retrieve the last inserted tape_id
def get_last_tape_id():
    """
    Retrieve the ID of the last inserted tape from the database.

    Returns:
        int: The ID of the last inserted tape.
    """
    # Read database configuration
    params = config()
    # Connect to the PostgreSQL database
    conn = psycopg2.connect(**params)
    # Create a new cursor
    cur = conn.cursor()

    cur.execute("SELECT id FROM tape")
    last_tape_id = cur.fetchone()
    if last_tape_id:
        return last_tape_id[0]
    else:
        return 1

```

```

def show_image_progsess(df, image, contours, radii_list, x_coords_list, y_coords_list):
    """
    Display the processed image with circles and contours.

    Args:
        df (pandas.DataFrame): DataFrame containing circle data.
        image (numpy.ndarray): Original image.
        contours (list): List of contours detected in the image.
        radii_list (list): List of radii of detected circles.
        x_coords_list (list): List of x-coordinates of detected circles.
        y_coords_list (list): List of y-coordinates of detected circles.

    Returns:
        None
    """
    # Display DataFrame
    print(df)

    # Display the original image
    cv2.imshow('Original Image', cv2.imread(image_name))

    # Display the image with contours
    image_with_contours = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_GRAY2BGR)
    for contour in contours:
        cv2.drawContours(image_with_contours, [contour], 0, (0, 255, 0), 2)
    cv2.imshow('Image with Contours', image_with_contours)

    # Display the image with contours and circles
    # Create a copy of the original image for drawing circles
    image_with_circles = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_GRAY2BGR)

    for x, y, r in zip(x_coords_list, y_coords_list, radii_list):
        cv2.circle(image_with_circles, (x, y), r, (0, 0, 255), cv2.FILLED)
    cv2.imshow('Image with Circles', image_with_circles)

    cv2.waitKey(0)
    cv2.destroyAllWindows()

def insert_data_kreis(radius, x_coordinate, y_coordinate, tape_id):
    """

```

Insert circle data into the database.

Args:

- radius (int): Radius of the circle.*
- x_coordinate (int): X-coordinate of the circle.*
- y_coordinate (int): Y-coordinate of the circle.*
- tape_id (int): The ID of the tape associated with the circle.*

Returns:

None

"""

```
sql = """INSERT INTO Circle (radius, xcooridnate, ycooridnate, tape_id)
conn = None
try:
    # Read database configuration
    params = config()
    # Connect to the PostgreSQL database
    conn = psycopg2.connect(**params)
    # Create a new cursor
    cur = conn.cursor()
    # Convert NumPy integers to Python integers
    radius = int(radius)
    x_coord = int(x_coordinate)
    y_coord = int(y_coordinate)
    # Execute the INSERT statement
    cur.execute(sql, (radius, x_coord, y_coord, tape_id))
    # Commit the changes to the database
    conn.commit()
    # Close communication with the database
    cur.close()
except (Exception, psycopg2.DatabaseError) as error:
    print(error)
finally:
    if conn is not None:
        conn.close()
```

def process_image(image_name):

"""

Process an image to detect circles and return a DataFrame containing ci

Args:

- image_name (str): The filename of the image to process.*

```

>Returns:
    pandas.DataFrame: DataFrame containing circle data.
"""

# Load the image
image = cv2.imread(image_name, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)

# Invert the image (since blobs are black on a white background)
image = cv2.bitwise_not(image)

# Find contours
contours, _ = cv2.findContours(image, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

# Lists to store radius, x-coordinate, and y-coordinate
radii_list = []
x_coords_list = []
y_coords_list = []

# Iterate through each contour
for contour in contours:
    # Calculate the center of gravity (centroid) and area of the contour
    M = cv2.moments(contour)
    if M["m00"] != 0:
        cx = int(M["m10"] / M["m00"])
        cy = int(M["m01"] / M["m00"])
        area = cv2.contourArea(contour)

        # Calculate the radius of the circle using the area
        radius = int(np.sqrt(area / np.pi))

        # Append radius, x-coordinate, and y-coordinate to respective lists
        radii_list.append(radius)
        x_coords_list.append(cx)
        y_coords_list.append(cy)

# Create DataFrame
data = {'Radius': radii_list, 'X-coordinate': x_coords_list, 'Y-coordinate': y_coords_list}
df = pd.DataFrame(data)

if __name__ == '__main__':
    show_image_progsess(df, image, contours, radii_list, x_coords_list, y_coords_list)

return df

```

```
if __name__ == '__main__':
    image_name = 'bild1.png'

    do_image(image_name)
```

Listing 6: Bilderkennung und verarbeitung

```
#!/usr/bin/python

import psycopg2
from config import config
import cv2
import numpy as np
import pandas as pd
from imageToCircle3 import do_image
# Function to retrieve the last inserted tape_id
def get_last_Measurement_id(cur):

    """
    Retrieve the last inserted Measurement_id from the database.

    Args:
        cur (psycopg2.cursor): Cursor object for database interaction.

    Returns:
        int: The last inserted Measurement_id incremented by 1.
    """
    cur.execute("SELECT id FROM Measurement")
    last_Measurement_id = cur.fetchone()
    if last_Measurement_id:
        return last_Measurement_id[0] + 1
    else:
        return 1
def insert_data(MeasurementSeries_id):
    """
    Insert a new messung entry into the database.

    Args:
        MeasurementSeires_id (int): The ID of the MeasurementSeries associate
    """

    
```

```

    None
"""

sql = """INSERT INTO Measurment (MeasurmentSeries_id)
          VALUES (%s);"""
conn = None
try:
    # Read database configuration
    params = config()
    # Connect to the PostgreSQL database
    conn = psycopg2.connect(**params)
    # Create a new cursor
    cur = conn.cursor()
    # Execute the INSERT statement
    cur.execute(sql, (MeasurmentSeries_id))
    # Commit the changes to the database
    conn.commit()
    print("Messung inserted into the database.")
    # Close communication with the database
    cur.close()
except (Exception, psycopg2.DatabaseError) as error:
    print(error)
finally:
    if conn is not None:
        conn.close()

# Main function
def main():
    """
    Main function to execute the program.

    Prompts the user for a messungReihe ID input, processes a list of image
    """

    # Prompt user for messung_id input
    messung_id = input("Enter MeasurmentSeries ID:")

    # List of image names
    image_names = ['bild1.png', 'bild2.png', 'bild3.png']

    try:
        # Read database configuration
        params = config()
        # Connect to the PostgreSQL database

```

```
conn = psycopg2.connect(**params)
# Create a new cursor
cur = conn.cursor()

# Retrieve the last inserted tape_id
messung_id = get_last_Measurement_id(cur)
print("Next_Measurement_id:", Measurement_id)

avg_mean_radius = 0
# Process each image
for idx, image_name in enumerate(image_names):
    # Process the image
    avg_mean_radius += do_image(image_name, messung_id)
avg_mean_radius = avg_mean_radius / 3

# Commit the transaction
conn.commit()

except (Exception, psycopg2.DatabaseError) as error:
    print(error)
finally:
    # Close cursor and connection
    if cur is not None:
        cur.close()
    if conn is not None:
        conn.close()

# Entry point of the program
if __name__ == "__main__":
    main()
```