

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

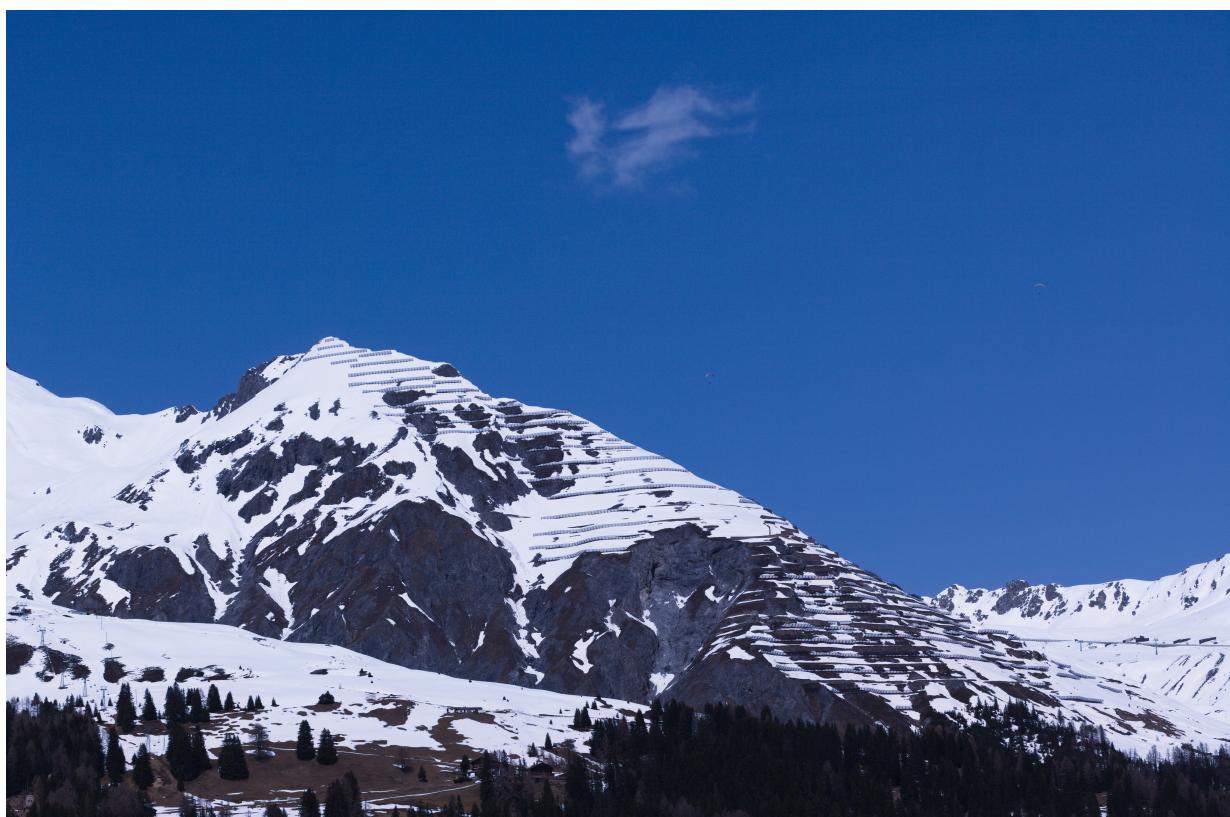
Bachelorarbeit
Bachelor für Maschinentechnik | Innovation

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

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Lawinen in der Schweiz	1
1.2 Entstehung der Gleitlawine	1
1.3 Endziel des Arbeit	1
1.4 User Story	1
1.5 Planung der Arbeit	2
2 Liquid Water Content	2
2.1 Physicalische Prinzipien	2
2.2 Kommerzielle Produkte	6
2.3 Publizierte Methoden	6
3 Vorstudie	6
3.1 Water Indikator Tape	6
3.2 Elektrischer wiederstand	7
3.3 Mögliche Lösung: Verlängerung der Graphitsonden	7
3.4 Verbindung des Graphits mit der Stahlplatte	7
3.5 Herausforderungen	7
3.6 Test des Graphitpulvers und Aluminiumpulvers	7
3.6.1 Ergebnisse	8
3.7 Möglichkeit der direkten Verwendung von Graphit-Epoxy-Mischung	8
4 Arbeitsschutz und Schnee	8
4.1 Feldversuch	8
4.2 Laser Refraktion und Reflektion	9
4.3 Vibration	11
4.4 Diffusion von Flüssigkeit	12
5 Funktionsmuster	12
5.1 Agiles Hardware Development	12
5.2 Eigenschaften der Varianten	12
5.3 Messablauf	12
5.4 Bildverarbeitung	13
5.5 Extrahieren von Informationen aus Bilddaten	16
5.5.1 Anforderungsanalyse	16

5.5.2	Konzeptueller DB Entwurf	17
5.5.3	Logischer DB Entwurf	17
5.5.4	Views für den Analysten	17
5.5.5	Physischer Entwurf	19
5.5.6	Python-Interaktion mit der Datenbank	19
5.5.7	Nächste Schritte	19
5.6	Widerstand gegen Umwelteinflüsse	19
5.7	Mögliche Gründe der hohen Varianz	20
5.8	Ergebnisse der Versuche	22
5.9	Verbesserungsmöglichkeiten des Funktionsmusters	22
5.10	Vollautomatische Durchführung der Messung	22
6	Ausblick	24
6.1	Presönliche Erfahrung	24
6.2	Fazit	24
6.3	Ausblick	24
6.4	Danksagung	25
7	Literaturverzeichnis	26
8	Erklärung zur Urheberschaft	30
9	Digitaler Anhang	33

1 Einleitung

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

Die schneefeuchtigkeit ist ein entscheidenen Parameter um Gleitschneelawinen abzuschetzen. 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 einsatzfahig ist, wurde nach aglier hardware entwicklung moglichst 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 Gleitlawine

feuchtigkeit sammelt sich zwischen den Eiskristallen an.

feuchtigkeit kommt durch schmelzenden schnee, primär Radiation und sekundär radiation.

Regen auf schnee

feuchtigkeit aus dem Boden. wasserführende schichten.

1.3 Endziel des Arbeit

verringerung des Schadens durch Gleitlawinen

1.4 User Story

Um die Aufgabe der produktentwicklung besser zu verstehen, wurden User storys geschrieben. In 9 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 schneefeuuchtigkeit 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.

1.5 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

viele verschieden pysikalische methoden wurden in verbindung des LWCs schon getestet.

dierektische Konstante

- bei 20 Mhz über eine platte
- zwischen einer gabel
- resonaz in einem zylinder
-
-
-

absorbtion elektro magnetischer welle

- gps
- radar
- ir
- sateliten aufnahmen
- mikrowellen
- neutronen scattering

absorbion akustischer wellen

- untraschall
- normale schall
-
-
-
-

emmision akustierscher wellen

-
-
-
-
-
-

elektrische eigenschaften

- ohmscher wiederstand
-
-

-
-
-

mechanische eigenschaften

- sheer force
- dichte
- eigenschwingungen
- vibrations übertragung
- eindruckswiderstand mit vibration
- viskositat
- vibrationsbohrung

optische eigenschaften

- reflexion
- refraktion
- polarimetrie
-
-
-

termische eigenschaften

- schmelzenergie mit DSC
- mit eisem wasser
- mit kalter flüssigkeit
- heizung (elektrisch, mikrowelle)
- taupunkt spiegel
- leitfähigkeit

seperation

- zetrifuge
- quetschen
- absaugen
-
-
-

Kapilarkrafte

- 5559 water indikator tape
- staub / flussigkeit beim ausbreiten im schnee beobachten (optisch, floaresnet, elektrisch)
- event kamera
- oberflachenspannung
-
-

sonstiges

- optische beurteilung
- luftfeuchtigkeit verandern
- luftwiederstand
- MRI
- nuclear magnetic resonanz
- raman spectrosokpy
- infrarot sptrosopy
- neutrone scattering
-
-
-
-

2.2 Kommerzielle Produkte

2.3 Publizierte Methoden

3 Vorstudie

Die Kriterien mit denen ausgewählt wurden waren die folgenden.

methode nicht schon von anderen studien gehandelt.

elegantheit des prinzipis

umsetzbarkeit im rahmen der BA

3.1 Water Indikator Tape

herkunft: Aus dem Elektronik bereich. zum beispiel in handys. wenn das tape rot geworden ist, ist wasser eingedrungen und der Hersteller kann eine Garantieleistung ablehnen.

Funktionsweise: das papier basierte 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 Dicke und somit durch die schnelleren Anzeigegeschwindigkeit aus.

5559i ist auf einem transparenten substrat, was fraktisch 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 Elektronikkomponenten Vertreiber 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. weiße Fläche berechnen. oder nur optisch beurteilen.

3.2 Elektrischer Widerstand

3.3 Mögliche Lösung: Verlängerung der Graphitsonden

Um dieses Problem zu beheben, könnte eine Verlängerung der Graphitsonden mit Stahlplatten in Betracht gezogen werden.

3.4 Verbindung des Graphits mit der Stahlplatte

Es gibt verschiedene Methoden, um die Graphitsonden mit den Stahlplatten zu verbinden:

- **Kleben:** Eine Möglichkeit besteht darin, die Graphitsonden mit leitfähigem Klebstoff an die Stahlplatten zu kleben. Dies erfordert die Herstellung oder den Kauf von geeignetem leitfähigem Klebstoff.
- **Konstant drücken:** Eine andere Möglichkeit wäre, die Graphitsonden und die Stahlplatten konstant gegeneinander zu drücken. Diese Methode ist jedoch fehleranfällig und könnte im Feld unpraktisch sein.
- **Verschrauben:** Schließlich könnten die Graphitsonden und die Stahlplatten miteinander verschraubt werden, um eine stabile und zuverlässige Verbindung zu gewährleisten.

3.5 Herausforderungen

- **Bearbeitung von Graphit:** Die Bearbeitung von Graphit ist anspruchsvoll und erzeugt viel Schmutz, was die Arbeitsumgebung belasten kann.
- **Fehleranfälligkeit beim Drücken:** Die Methode des konstanten Drückens ist anfällig für Fehler und könnte die Genauigkeit der Messungen beeinträchtigen.

3.6 Test des Graphitpulvers und Aluminiumpulvers

- **Graphitpulver:** 66 % Gewichtsprozent Graphitpulver, 33 % Ergo 7410 Epoxy Klebstoff
- **Aluminiumpulver:** 66 % Gewichtsprozent Aluminiumpulver, 33 % Ergo 7410 Epoxy Klebstoff

3.6.1 Ergebnisse

Nach 24 Stunden, sodass der Ergo 7410 aushärten konnte, wurden die Klebestellen als Oberflächenvorbereitung angeschliffen. Die Messergebnisse sind wie folgt:

- Widerstand zwischen Punkt A und B: 2.6
- Widerstand zwischen Punkt A und C: 0.2
- Widerstand zwischen Punkt A und D: keine Verbindung

Die mechanische Stabilität des Tests mit Aluminiumpulver war nicht so gut.

3.7 Möglichkeit der direkten Verwendung von Graphit-Epoxy-Mischung

Es stellt sich die Frage, ob auf die Stahlplatte verzichtet und die Verlängerung direkt mit der Graphit-Epoxy-Mischung durchgeführt werden kann.

Zwischen den beiden Graphitstäben ist eine PAAM-Platte geklebt. Alle offenen Stellen des Epoxy/Graphits sind mit reinem Epoxy überzogen, um Kriechspannungen durch Wasser zu verhindern.

4 Arbeitsschutz und Schnee

Schnee ist Wasser, das vom Boden verdampft, sich dann in der Atmosphäre an einem Nukleus kondensiert oder resublimiert und dann auf den Boden zurückfällt.

Im Alltag weiß man, dass man mit dem Haartrockner nicht in die Dusche gehen darf, da Wasser elektrisch leitend ist. Diese Schlussfolgerung ist jedoch nicht sehr präzise, denn reines Wasser ist nicht leitend, sondern die Ionen (Salze), die im 'normalen' Wasser gelöst sind. Auf sehr geringem Niveau ist auch reines Wasser leitend, da sich spontan $1e-7$ Hydroniumionen (H_3O^+) bilden und den pH-Wert 7 ergeben.

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

4.1 Feldversuch

Im Feldversuch konnte keine Leitfähigkeit gemessen werden.

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.

4.2 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.

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 durchgeföhrte Versuch hat dann aber einfach in einem abgedunkelten Raum stattgefunden.

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



Abbildung 1: Versuchsaufbau der Laser Reflexion und Refraktion

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 4.4 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

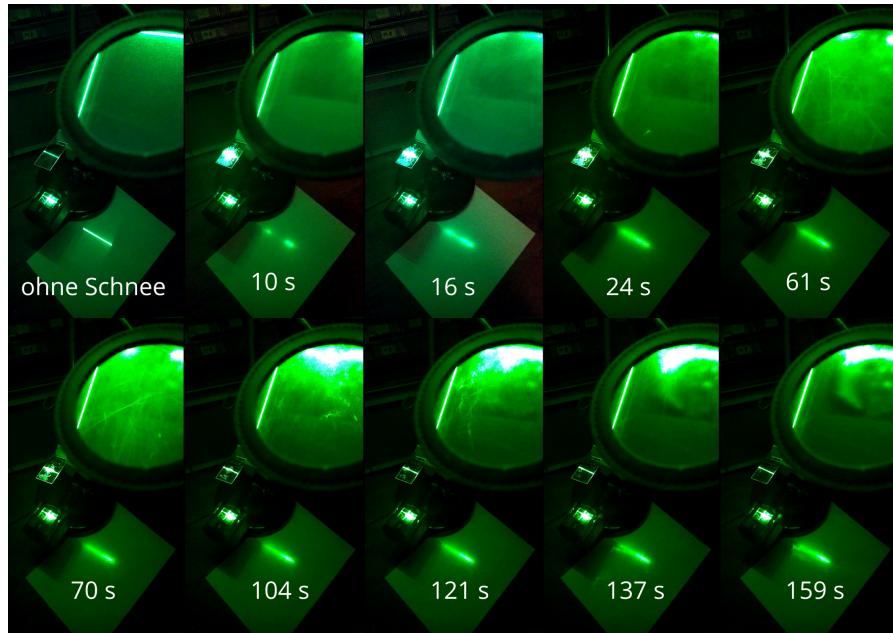


Abbildung 2: Messgrößen für die Reflexion und Refraktion, Veränderung über Zeit

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.

4.3 Vibration

this is text

avanode vibriert. wenn kurz vor gleitlawine wird der schnee zur flüssigkeit. der avanode sinkt auf grund der hohen dichte und verändert dabei die position.

vibraNode

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.

der erste test hat nicht funktioniert. Ich stand auf dem schnee, neben dem Virbanode, ich habe rund die vierfache auflagefläche, aber das 60 fache gewicht. das heisst der schnee war ungeeignet und nicht kurz vor einer gleitschneelanwine. zumindest an der Oberfläche.

mit dem virbanode ist es sicher nicht mögliche den LWC fest zu stellen. auch

nachdem der schnee mit wasser übergossen worden ist, ist der VurbaNode nicht eingesunken.

ist der LWC die einscheidende grössze für gleitschneelawinen?

4.4 Diffusion von Flüssigkeit

mit handy und stereoskop aufbau.

schnee gekühlt, durch Eisring und eisunterlage.

gekühlt ist fast noch besser als perfekt isoliert.

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

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

5 Funktionsmuster

5.1 Agiles Hardware Devolopment

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 schnell zu arbeiten wurde möglichst viel CAD (Cardboard aiden design) und möglichst wenig CAD (Computer adided design) benutzt. Für die funktiosmuster wurde in der rheinenfolge die materialen ausgesucht:

bestehendes Objekt benutzten und modifizieren Karton IR - laser cutter mit Sperrholz 3D Druck, in Fdm teile bestellen selber fertigen (manuell drehen, fräsen, töpfern usw.) 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.

5.2 Eigenschaften der Varianten

5.3 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 traglast 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 moglichst 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

5.4 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 geometriener 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.

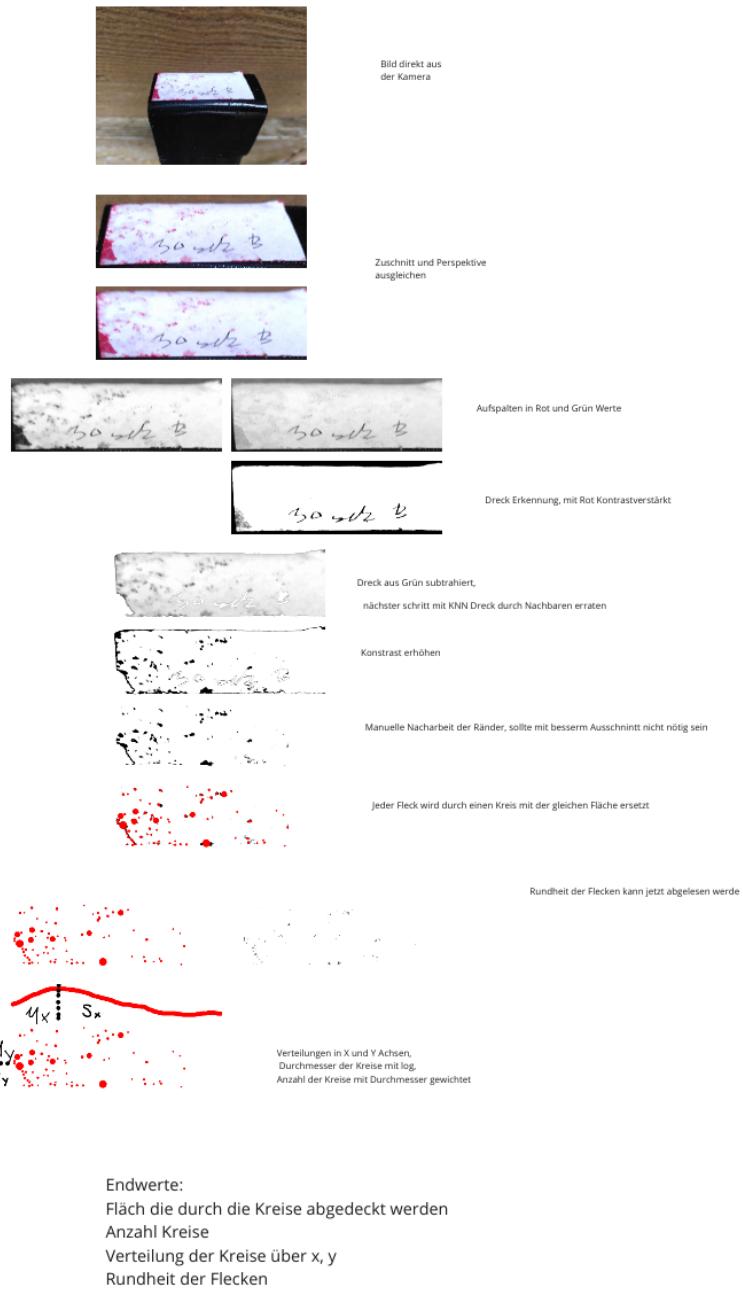


Abbildung 3: Bildverarbeitungskonzept

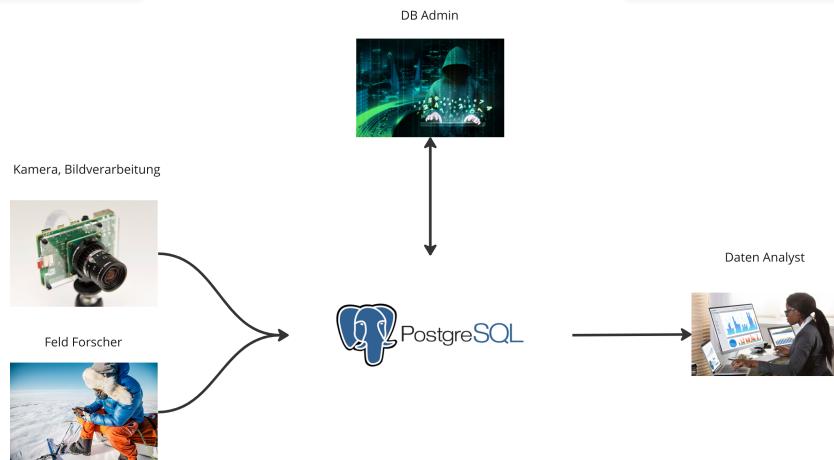


Abbildung 4: Benutzer der Datenbank

5.5 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 9 zu finden.

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

5.5.1 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

5.5.2 Konzeptueller DB Entwurf

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

5.5.3 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

5.5.4 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

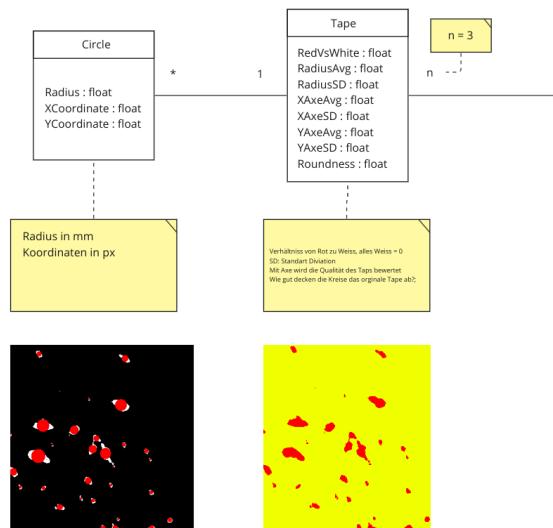
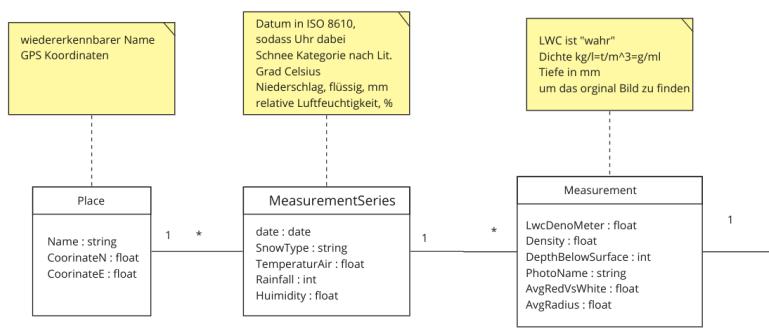


Abbildung 5: UML-Diagramm des konzeptuellen DB-Entwurfs

5.5.5 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/>.

5.5.6 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

5.5.7 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 tatsächliche Nutzung noch anpassen.

5.6 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.

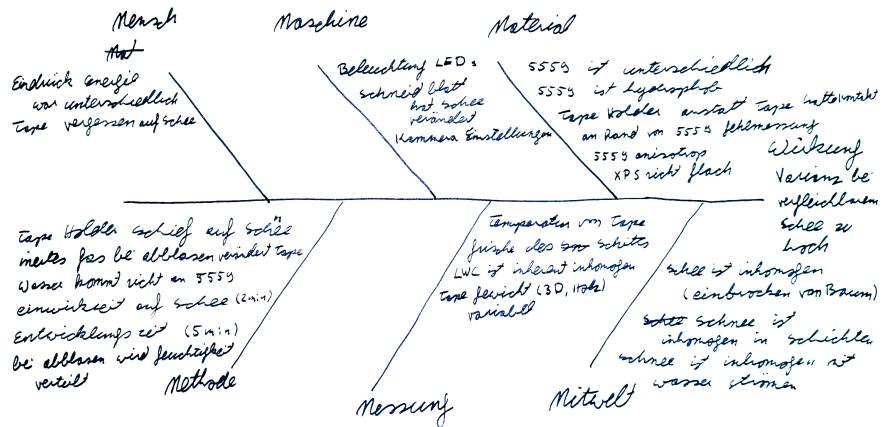


Abbildung 6: Ishikawa Fehler Analyse für die Messung des Funktionsmusters 2

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.

5.7 Mögliche Gründe der hohen Varianz

in der messung in davos ??

In dem Bild ?? wurde Schnee in einem 0.2 m^2 Flchegemessen. 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. ??

5.8 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 regenschirm 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.

5.9 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.

5.10 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 vorteil des Taps ist die feine ortliche 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 funktionsmuster 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.

6 Ausblick

lovly

6.1 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.

6.2 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.

6.3 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

6.4 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.

7 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%20%93Thomson_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}.

8 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	10
2	Messgrößen für die Reflexion und Refraktion, Veränderung über Zeit	11
3	Bildverarbeitungskonzept	15
4	Benutzer der Datenbank	16
5	UML-Diagramm des konzeptuellen DB-Entwurfs	18
6	Ishikawa Fehler Analyse für die Messung des Funktionsmusters 2 . .	20

Tabellenverzeichnis

9 Digitaler Anhang

User Storys

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

bob sitzt an seime 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 liset 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 Schness 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()
```