

MONITORING MET HOOG-FREQUENTIE 3D LiDAR-SCANNER VAN PUINSTROMEN IN DE ZWITSERSE ALPEN

T. De Poorter

HOGENT, Opleiding Vastgoed, Gent, België
Corresponderende auteur: tibo.depoorter@student.hogent.be

SLEUTELWOORDEN: puinstromen, 3D LiDAR-scanner, laser-scanning, puntenwolken, hoog-frequentie, Illgraben, puinstroomparameters, monitoring

SAMENVATTING:

Puinstromen vormen een groot gevaar voor de mens en zijn omgeving in de Alpen. Meerdere keren per jaren richten puinstromen enorme schade aan. In het verleden is er al veel onderzoek gebeurd naar puinstromen met allerlei apparatuur. In deze paper wordt er onderzocht of hoog-frequentie laser-scanning een positieve bijdrage kan leveren aan de studie van de gevaren en dynamiek van puinstromen. Er wordt nagegaan welke gevarengerelateerde puinstroomparameters kunnen afgeleid worden uit geregistreerde puntenwolken, en welke voordelen LiDAR biedt bij dit onderzoek. Tijdens een uitgebreide studie met een 3D hoog-frequentie scanner in het stroomgebied van de Illgraben (CH), is men erin geslaagd om tijdens de puinstroom van 19 september 2021 een zeer groot aantal puntenwolken in korte tijd te registreren. Op basis van deze datasets heeft het onderzoeksteam de frontale snelheid, oppervlaktesnelheid, dwarsdoorsnede, afvoer en gebeurtenisvolume kunnen bepalen. Nooit eerder was er zo een grote hoeveelheid veldgegevens gemeten van puinstromen in de Illgraben, met zo veel resolutie in ruimte en tijd.

1. INLEIDING

Meerdere keren per jaar worden de Zwitserse Alpen getroffen door verwoestende modder- en steenlawines.

Een klein, bijna droogstaand, bergbeekje kan in enkele seconden tijd veranderen in een monsterlijke modderstroom, die onderweg boomstammen en enorme rotsblokken met grote kracht meesleurt. Dergelijke puinstromen behoren tot de meest destructieve natuurrampen.



Figuur 1. puinstroom Illgraben 5 Juni 2022 (© Eidg. Forschungsanstalt WSL, Copyright 2022)

Deze kolkende massa is levensgevaarlijk voor de mens, en richt enorme schade aan, zowel aan de natuur, aan infrastructuur, als aan bewoonde gebieden.

Voor het bergdorp Zinal (Wallis, CH) bijvoorbeeld, werd begroot dat een grote puinstroom van de bergstroom Péterey, wel 400 mensen kan in gevaar brengen en dat de schade meer dan 150 miljoen euro kan bedragen.

Puinstromen (in het Engels : Debris flows, in het Frans : Laves torrentielles) ontstaan tijdens smeltperiodes van sneeuw, of door het afsmelten van permafrost, of door hevige regenval. Ze komen meestal voor vanaf de maand mei tot oktober.

De huidige klimaatveranderingen zorgen voor stijgende temperaturen en voor meer extreme stortregens, waardoor hellingen instabiel kunnen worden, de grond naar omlaag begint te schuiven, en vervolgens er zich een mengsel vormt van sediment en water, waaruit modderstromen kunnen ontstaan.

Deze plotse puinstromen, bestaande uit duizenden kubieke meters modder en stenen volgen de bedding van bestaande berggriviertjes of kunnen zelfs nieuwe valleien uitschuren.

Men stelt vast dat puinstromen de afgelopen tien jaar, ingevolge de klimaatopwarming, steeds vaker optreden en steeds groter worden. De schade die ze veroorzaken wordt ook steeds aanzienlijker.

De Alpenkantons zijn heden bezig met enorme investeringen om zich te beveiligen tegen dit natuurgeweld: er worden enorme opvangbekkens aangelegd. Er worden betonnen constructies gebouwd. Risicozones worden uitgerust met allerlei meetapparatuur, die gekoppeld zijn aan alarmsystemen in de gevarenzones. Veertig locaties in het kanton Wallis (CH) worden heden permanent bewaakt voor puinstromen.

Diepgaande wetenschappelijke studie omtrent puinstromen is dan ook van primordiaal belang.

Allerlei gesofisticeerde apparatuur werd in het verleden al aangewend om puinstromen uitvoerig te onderzoeken, zoals pluviometers, geofoons, camera's, temperatuursensoren, GNSS, drones, fotogrammetrie, enz.

In deze paper wordt onderzoek gedaan naar innovatieve onderzoeksmethodes om puinstromen beter te leren begrijpen. Kan hoog-frequentie 3D LiDAR-scanning een nuttige bijdrage leveren aan het onderzoek van puinstromen?

Welke gevarengerelateerde puinstroomparameters kunnen worden afgeleid uit de geregistreerde puntenwolken met de hoog-frequentie 3D LiDAR-scanner? Welke voordelen biedt de hoog-

frequentie 3D LiDAR-scanner ten opzichte van de vroegere onderzoeksmethodes ?

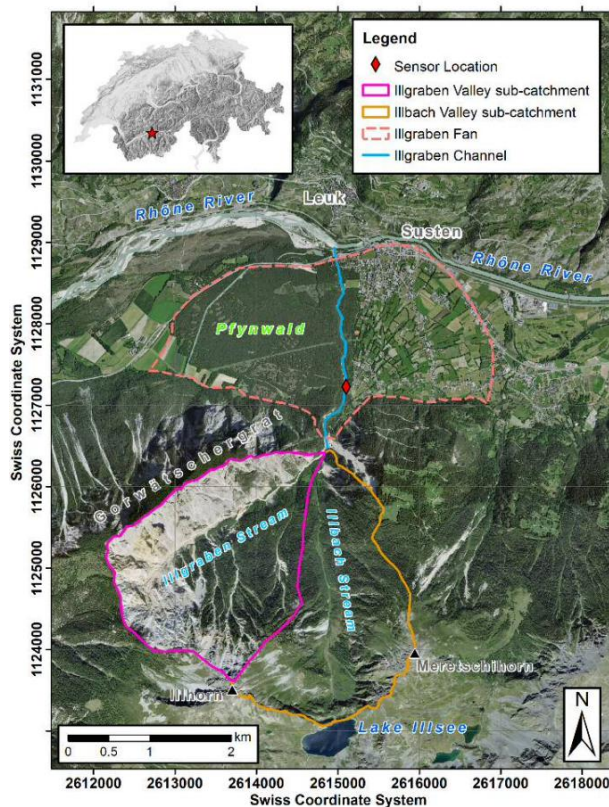
2. ONDERZOEKSLOCATIE

Uit grondige literatuurstudie blijkt dat de WSL (Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research) samen met de universiteit ETH Zürich, een studie van puinstromen met hoog-frequentie 3D LiDAR-scanner hebben uitgevoerd in het stroomgebied van de Illgraben in Zwitserland.

Het stroomgebied van de bergrivier Illgraben is één van de meest actieve puinstroomgebieden van Europa. Dit gebied ligt in het kanton Wallis (CH), op slechts enkele kilometers van de stad Sierre.

In Google Earth is dit bijzondere gebied onmiddellijk in het oog springend. Waar zich nu een ruwe kloof bevindt, stond ooit een bergtop, die in de 14^{de} eeuw door erosie is afgebroken. Het bovenste deel van de kloof van de Illgraben is begrenst door dit eeuwenoude breukvlak, dat nog steeds bestaat uit zeer kale rotswanden met bijna geen begroeiing. Deze zeer instabiele rotswanden in combinatie met hevige regenval zijn al voldoende om er een puinstroom te veroorzaken.

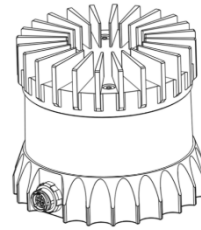
Al sinds het jaar 2000 vormt dit gebied een onderzoeksveld voor puinstromen voor de WSL en voor de universiteit ETH Zürich.



Figuur 2. Situering van het onderzoeksgebied. (© Raffaele F. Spielmann, uitgegeven door ETH Zürich, Copyright 2022.)

3. BESCHRIJVING VAN DE GEBRUIKTE LIDAR-SCANNER

Bij de studie in het stroomgebied van de Illgraben wordt er gebruik gemaakt van een time-lapse 3D LiDAR-scanner, die met een vast tijdsinterval puntenwolken registreert.



Figuur 3. Ouster os-1 gen1 (© Ouster, Inc., Copyright 2020)

Het gebruikte type laser-scanner is de OUSTER OS1-64, Gen 1.

Deze laser-scanner is een Mid-Range High-Resolution Imaging LiDAR, en werd ontworpen voor toepassingen indoor en outdoor bij alle weersomstandigheden. De LiDAR-scanner kan werken bij temperaturen van -20°C tot +50°C. De OS1 Gen 1 is origineel ontwikkeld voor industriële automatisatie, voor autonoom rijdende voertuigen, voor robots, drones, enz.

Het bereik van deze LiDAR-sensor varieert tussen de 50 m en 150 m, afhankelijk van de Lambertiaanse reflectie van het te scannen materiaal en van de waarschijnlijkheid van detectie.

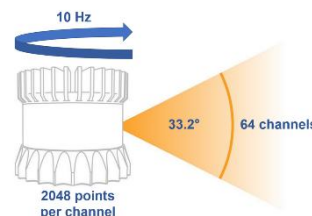
De minimale gebruiksafstand voor laser-scanning en het registreren van een puntenwolk bedraagt bij deze sensor 0,80 m.

De precisie van een meting wordt in de productfiche gegeven in functie van de afstand tussen de sensor en het doel : (voor 10% Lambertiaanse reflectie)

Afstand	Precisie
0,8 – 1 m	+/- 1 cm
1 – 20 m	+/- 1,1 cm
20 – 50 m	+/- 3 cm
> 50 m	+/- 5 cm

Tabel 1. Precisie in functie van de afstand.

De precisie is de berekende standaardafwijking van 100 metingen naar een statisch doel, dat zich bevindt op een bepaalde afstand. De precisie verwijst naar hoe dicht de metingen bij elkaar liggen. De nauwkeurigheid van een meting bedraagt +/- 5 cm (voor Lambertiaanse reflectors met 0,10% tot 100% Lambertiaanse reflectie) en +/- 10 cm voor retroreflectors. De nauwkeurigheid is berekend als het verschil tussen het gemiddelde van 100 metingen naar een statisch doel, en de werkelijke afstand van het doel. De nauwkeurigheid verwijst naar hoe dicht een meting bij de werkelijke waarde ligt.



Figuur 4. Werking van de sensor. (© Raffaele F. Spielmann, uitgegeven door ETH Zürich, Copyright 2020.)

Het horizontale gezichtsveld = 360°. De sensor draait een volledige cirkel om zijn verticale as. Het verticale gezichtsveld = 33,2°.

De verticale resolutie is 64 kanalen. Dit betekent dat de sensor 64 lasers gebruikt, die verdeeld zijn over een verticaal gezichtsveld van 33,2°. Deze 64 lasers roteren rond het centrum van de sensor tijdens het scannen. Uit deze gegevens kunnen we de verticale hoekresolutie bepalen, namelijk $33,5^\circ / 64 \text{ kanalen} = 0,52^\circ$.

Voor de horizontale resolutie kan de sensor worden ingesteld op 512, 1024 of 2048. Er werd gekozen voor de hoogste resolutie. Dit betekent dat langs elk van deze voornoemde kanalen 2048 punten per rotatie worden geregistreerd. Hieruit kan de horizontale hoekresolutie worden berekend, namelijk $360^\circ/2048 = 0,18^\circ$.

Deze LiDAR-scanner kan worden ingesteld met een rotatiesnelheid van 10 Hz of 20 Hz. Er werd geopteerd voor een rotatiesnelheid van 10 Hz. Dit wil zeggen dat er 10 scans of frames per seconde werden gemaakt.

4. TOEPASSING LASER-SCANNING

Bij klassieke monitoring met laser-scanning worden meestal kleine bewegingen gemeten die optreden over een langere tijdspanne, zoals de doorbuiging van een brugligger onder invloed van verkeersbelasting over een bepaalde periode, of de zetting van een stuwdamwand in de loop der tijd. De LiDAR-scanners die voor dergelijke toepassingen worden gebruikt, hebben een veel lagere frequentie. Dit wil zeggen dat ze veel meer tijd nodig hebben om een volledige puntenwolk te registreren.

Het onderzoeksteam van de Illgraben, onder leiding van Prof. Dr. Jordan Aaron, wil echter laser-scanning aanwenden tijdens snel voorbijrazende puinstromen, over korte duur. Een puinstroom duurt gemiddeld zo'n 30 minuten. Om dergelijke dynamische situaties te kunnen scannen, hebben ze gekozen voor een hoog-frequentie LiDAR-sensor van 10 Hz, die 10 puntenwolken per seconde kan registreren (Spielmann, 2022).

5. LABOTESTEN

Voorafgaand aan het veldwerk werd er zeer uitgebreid onderzoek gevoerd in het laboratorium, waarbij schaalmodellen van puinstromen werden gescand met de voornoemde OUSTER LiDAR-scanner. Vervolgens werden de puntenwolken geanalyseerd en verwerkt met verschillende computerprogramma's (OusterStudio, Matlab en Cloudcompare). Tenslotte werden de gewenste parameters gemeten en/of berekend met de data van de schaalmodellen in het labo, namelijk frontsnellheid, oppervlaktessnellheid, dwarsdoorsnede, afvoer en materiaalvolume (Spielmann, 2020).

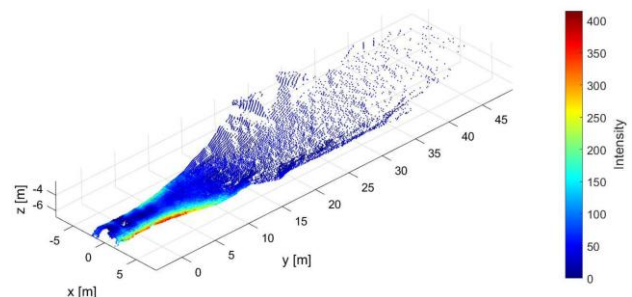
6. STUDIE IN HET ONDERZOEKSGBIED

6.1 Positionering van de LiDAR-sensor boven de Illgraben

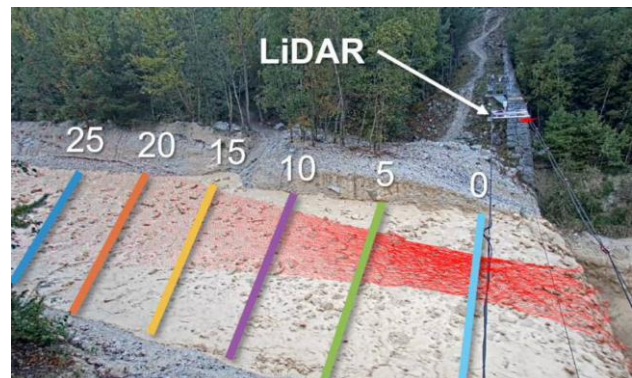
Nadat men voldoende experimenten had uitgevoerd op schaalmodellen in het laboratorium, werd beslist om een LiDAR-sensor OUSTER OS1-64 op te hangen in het midden boven de bedding van de Illgraben, ter hoogte van de controledam 'Gazoduc'. Dit is één van de 30 controledammen die eertijds werden gebouwd dwars op de Illgraben na een zeer verwoestende puinstroom in 1961.

De LiDAR-sensor werd in augustus 2021 geïnstalleerd. De LiDAR-scanner werd gemonteerd op een platform dat aan stalen kabels werd gehangen direct boven de controledam 'Gazoduc'. Er werden eveneens 2 videocamera's geïnstalleerd, 1 op de rechter oever en 1 werd opgehangen aan de stalen kabels, naast de laser-scanner. De LiDAR-sensor werd zodanig gepositioneerd dat de as waarrond de laser-sensor draait, horizontaal staat en evenwijdig is met de controledam 'Gazoduc'. Op die manier werd zowel de bedding stroomopwaarts van de sensor, als stroomafwaarts van de sensor, gescand. Bij de installatie werd de

scanner in feite 90° gedraaid ten opzichte van zijn gebruikelijke positie. Wegens de openingshoek van $33,2^\circ$ kon de volledige kanaalbreedte pas gescand worden vanaf een afstand van 20m tot 30m. Deze leemtes werden opgevuld door extrapolaties en uit digitale terreinmodellen van fotogrammetrische dronevluchten (Spielmann, 2022).



Figuur 5. Puntenwolk van de Illgraben. (© Raffaele F. Spielmann, uitgegeven door ETH Zürich, Copyright 2022.)



Figuur 6. Illgraben met afstanden en puntenwolk. (© Raffaele F. Spielmann, uitgegeven door ETH Zürich, Copyright 2022.)

6.2 Metingen in situ

Op de gekozen locatie werden puntenwolken opgemeten vóór, tijdens en na een puinstroom.

Op 19 september 2021 registreerde de nieuw geïnstalleerde LiDAR-sensor een eerste puinstroomgebeurtenis, nadat het registratiesysteem automatisch werd geactiveerd door een stroomopwaarts geplaatste geofoon. Het tijdstip van de activatie van de registratie werd aangeduid als het tijdstip 00:00. De aankomst van het front van de puinstroom bij de controledam 'Gazoduc' is 02:04, dus 2 minuten en 4 seconden na de activatie van het registratiesysteem (Spielmann, 2022).

6.3 Fouten op de metingen

Nooit eerder was er zo'n grote hoeveelheid data gemeten van een puinstroom in de Illgraben, met zo veel resolutie in ruimte en tijd (Aaron et al., 2023).

Uit de technische specificaties van de sensor kan worden berekend dat elke individuele puntenwolk $64 \times 2048 = 131.072$ punten bevat. We weten dat er 10 dergelijke puntenwolken werden gescand per seconde. Bijgevolg werden er 1.310.720 punten gescand per seconde. Dit komt overeen met een datastroom van 129 MB per seconde. Aangezien een puinstroomgebeurtenis ongeveer 30 minuten duurt, betekent dit

dat er in totaal 18.000 puntenwolken geregistreerd worden per optredende puinstroom en dat er 2,36 miljard punten gescand worden, hetgeen overeenkomt met 232 GB data.

Uit de technische specificaties van deze sensor kan worden afgeleid dat bij het scannen van een doel met 10% Lambertiaanse reflectie¹, volgende afwijking kan optreden, in plus of in min, van de werkelijke afstand, indien we uitgaan van een normale verdeling :

* zone 1 - 20 m :

Bij 98% van de gescande punten is de afwijking kleiner dan $5 \text{ cm} + 3 \times 1,1 \text{ cm} = 8,3 \text{ cm}$.

* zone 20 – 50 m :

Bij 98% van de gescande punten is de afwijking kleiner dan $5 \text{ cm} + 3 \times 3 \text{ cm} = 14 \text{ cm}$

De waarden voor de precisie en nauwkeurigheid in de technische fiche van de sensor, zijn gebaseerd op laboratoriumtesten van de sensor. In werkelijkheid zullen ook atmosferische effecten, zoals temperatuur, luchtdruk, hevige neerslag, ..., invloed hebben op de meetresultaten. De opgegeven waarden voor precisie en nauwkeurigheid door de fabrikant werden bepaald met een statisch doel, terwijl de puinstromen een dynamisch karakter hebben. Bijgevolg zullen de fouten op de veldgegevens groter zijn dan de berekende afwijkingen.

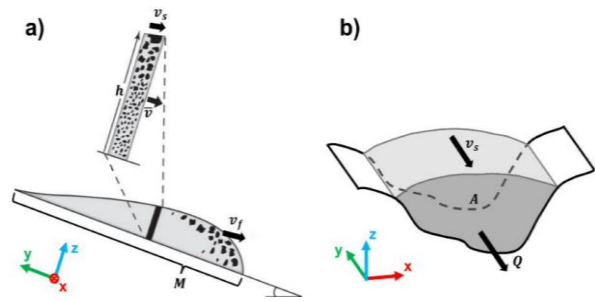
Rekening houdende met voorgaande overwegingen, werden de puntenwolken van de puinstroom grondig geanalyseerd. Men is tot de vaststelling gekomen dat metingen van punten op grotere afstand dan 40m van de sensor niet bruikbaar zijn, omdat de geregistreerde punten in situ veel grotere afwijkingen vertoonden dan aangegeven door de fabrikant in de specificaties van de sensor (Spielmann, 2022).

6.4 Overweging inzake rotatiesnelheid

Men kan zich terecht afvragen waarom de gebruikte LiDAR-scanner OUSTER OS1-64, Gen1 werd gebruikt met een rotatiesnelheid van 10 Hz, en niet van 20 Hz. Bij 20 Hz worden er 20 puntenwolken per seconde geregistreerd. Bij 20 Hz is de horizontale resolutie van deze sensor echter beperkt tot 1024. Dit betekent dat elke individuele puntenwolk dan $64 \times 1024 = 65.536$ punten bevat, dus de helft minder dan bij 10 Hz. Hoe minder punten per puntenwolk, hoe minder data er beschikbaar is per frame voor de verdere studie van de te onderzoeken parameters van puinstromen.

6.5 Bepaling puinstroomparameters uit de puntenwolken

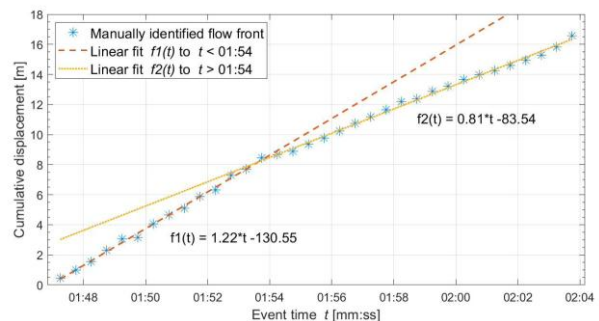
Het hoofddoel van de studie met LiDAR-scanner boven de Illgraben, is het kwantificeren van de vijf gevarengerelateerde puinstroomparameters, namelijk frontale snelheid, oppervlakesnelheid, dwarsdoorsnede, afvoer en gebeurtenisvolume, volledig op basis van de LiDAR-gegevens van de puinstroomgebeurtenis van 19 september 2021 (Spielmann, 2022).



Figuur 7. Voorstelling van de puinstroomparameters. (© Raffaele F. Spielmann, uitgegeven door ETH Zürich, Copyright 2022.)

6.5.1 Frontale snelheid: Op de puntenwolken van de eerste minuten van de puinstroomgebeurtenis, werd het stromingsfront geïdentificeerd. In een grafiek wordt op de horizontale as het tijdstip uitgezet van de puntenwolk en op de verticale as de cumulatieve verplaatsing van het front. Door de verkregen punten in de grafiek wordt de best passende rechte geconstrueerd.

De helling of richtingscoëfficiënt van deze rechte geeft de snelheid weer van het stromingsfront. Men heeft op die manier kunnen bepalen dat de snelheid in een eerste fase 1,22 m/s bedroeg, en in een tweede fase, die begon op circa 5m stroomopwaarts van de sensor, vertraagde tot 0,81 m/s.

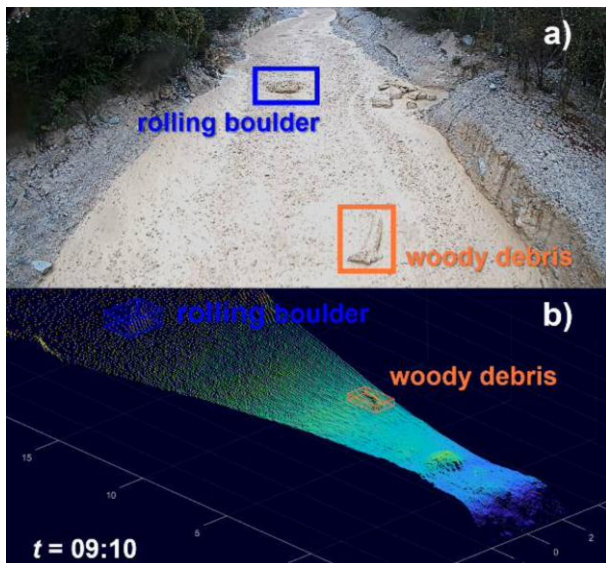


Figuur 8. Grafiek inzake het traject van het stromingsfront. (© Raffaele F. Spielmann, uitgegeven door ETH Zürich, Copyright 2022.)

6.5.2 Oppervlakesnelheid: In het puinstroomoppervlak van 19 september 2021 kon men verschillende types van objecten onderscheiden. Door het analyseren van de puntenwolken kon men de snelheid afleiden van rollende keien en van houtachtig puin. Men constateerde een verschil in snelheid van de verschillende types objecten.

In een eerste fase bewogen de twee types objecten met vergelijkbare snelheid tussen 1,2 en 1,9 m/s. In een tweede fase bewogen de keien veel langzamer dan het hout. In een derde fase nam de snelheid van beide materialen aanzienlijk toe tot respectievelijk 3,2 m/s en 4,2 m/s.

¹Bij Lambertiaanse reflectie valt het licht in op een ideaal diffuus oppervlak en is de gereflecteerde straling hetzelfde vanuit alle kijkrichtingen. Onbewerkt hout of mat papier benaderen Lambertiaanse reflectie.



Figuur 9. Vergelijking foto (a) en puntenwolk (b). (© Raffaele F. Spielmann, uitgegeven door ETH Zürich, Copyright 2022.)

6.5.3 Dwarsdoorsnede: Voor de bepaling van de dwarsdoorsnede heeft men een kanaallengte beschouwd van circa 25m, stroomopwaarts van de LiDAR-sensor. De bedding werd gemeten in 6 kanaalsecties, om de 5m, door opname van puntenwolken zowel vóór als na de puinstroomgebeurtenis.

Vervolgens werd de gemiddelde kanaalgeometrie bepaald van beide voormelde opnames. Tenslotte werden de puntenwolken van de puinstroom zelf beschouwd om de dwarsdoorsnede van de puinstroom te schatten.

6.5.4 Afvoer: De afvoer werd berekend op basis van de oppervlaktesnelheid en de dwarsdoorsnede. De afvoer Q [m³/s] op tijdstip t en op afstand y van de LiDAR-sensor wordt gegeven door :

$$Q(y,t) = A(y,t) \cdot v_s(y,t) \quad (1)$$

waar $A(y,t)$ = dwarsdoorsnede op tijdstip t en op afstand y van de sensor [m²]
 $v_s(y,t)$ = gemiddelde oppervlaktesnelheid op tijdstip t en afstand y van de sensor [m/s]

6.5.5 Gebeurtenisvolume: Het volume M wordt verkregen door de afvoer te integreren over de gehele duur van de puinstroomgebeurtenis op een bepaalde kanaalsectie.

7. DIVERSE ANDERE STUDIES

De problematiek van puinstromen kreeg de afgelopen jaren wereldwijd steeds meer aandacht.

In het Halltal, Oostenrijkse Alpen, werd het sedimentvolume² gekwantificeerd dat door een puinstroomgebeurtenis werd getransporteerd, met behulp van een combinatie van terrestrische (TLS) en luchtlaserscanning (ALS) (Bremer et al., 2012). Vóór de gebeurtenis werd een digitaal terrein model (DTM) opgemaakt met ALS. Na de puinstroom werd een DTM afgeleid met TLS. Beide datasets werden vergeleken om de afzettingenvolumes te bepalen.

²Met het sedimentvolume wordt bedoeld de hoeveelheid van het getransporteerde en afgezette materiaal.

In de Lattenbach-vallei, Oostenrijk, werd een 2D rotatie lasersensor geïnstalleerd over een vaste doorsnede van de rivierbedding (Huebl, 2019). De sensor is ontwikkeld voor debietscanning van transportbanden, en werkt met infraroodlicht. Met deze sensor werd een 3D-oppervlaktemodel geregistreerd van de passerende puinstroom. Dit onderzoek gebeurde door de BOKU-University van Wenen.

In de White Canyon, Canada, werd er gedurende 7 jaar terrestrische laserscanning (TLS) uitgevoerd op 17 kanalen om de rol van sedimentaanvoer en -afvoer op de kanalen te onderzoeken, met het oog op de aanleg van een spoorweg in het onstabiele gebied (David et al., 2022). De conclusie van de studie vermeldt dat onderzoek met hoog-frequentie LiDAR-scanner in de toekomst vereist zou zijn om de mechanismen en processen van de puinstromen beter te begrijpen.

In IJsland werden 2 datasets, verkregen door luchtlaserscanning in 2007 en 2013, vergeleken en geanalyseerd (Morino et al., 2018). Dit leidde tot meer inzicht in de ontwikkeling van puinstromen en de risicobeperking ervan.

Meerdere studies zijn wereldwijd uitgevoerd met LiDAR-scanning om puinstromen te bestuderen. Het idee van Prof. Dr. Jordan Aaron om echter een hoog-frequentie 3D LiDAR-scanner aan te wenden heeft geleid tot een innovatief experiment. Nooit eerder konden puntenwolken van puinstromen worden vastgelegd met zo een hoge ruimtelijke en temporele resolutie. Dankzij de datasets, verkregen met de hoog-frequentie 3D laser-scanner, was een diepgaande analyse mogelijk aangaande de dynamiek van puinstromen (Aaron et al., 2023).

8. CONCLUSIES EN VERDERE ACTIVITEITEN

Puinstromen zijn een groot gevaar voor de mens en zijn omgeving in de Alpen.

Uit het gevoerde onderzoek blijkt dat hoog-frequentie 3D laser-scanning inderdaad een belangrijke bijdrage kan leveren bij de studie van puinstromen. Men is erin geslaagd om met de hoog-frequentie 3D LiDAR-scanner een zeer groot aantal puntenwolken te registreren, met een vast tijdsinterval.

Uit deze geregistreerde puntenwolken heeft men de gevarengerelateerde puinstroomparameters kunnen berekenen, op basis van veel meer veldgegevens dan ooit tevoren mogelijk was. Uit de velddata van de puinstroomgebeurtenis van 19 september 2021 werden de frontale snelheid, oppervlakte-snelheid, dwarsdoorsnede, afvoer en gebeurtenisvolume bepaald.

Deze studie heeft het zeker mogelijk gemaakt om de dynamiek van puinstromen beter te leren begrijpen.



Figuur 10. Bijgeplaatste LiDAR sensoren boven Illgraben. (© Eidg. Forschungsanstalt WSL, Copyright 2024)

Sindsdien werden nog vier extra LiDAR-sensoren geïnstalleerd boven twee andere controledammen van de Illgraben.

Nooit eerder was er zo een grote hoeveelheid data gemeten van puinstromen in de Illgraben, met zo veel resolutie in ruimte en tijd.

Ook op andere locaties wereldwijd gebeurden studies van puinstromen met LiDAR-scanners. Deze studies hebben echter de dynamiek van puinstromen nooit in dezelfde mate kunnen vastleggen. Het idee van Prof. Dr. Jordan Aaron om echter een hoog-frequentie 3D LiDAR-scanner aan te wenden heeft in elk geval geleid tot nieuwe inzichten in deze specifieke materie inzake de dynamiek van puinstromen. Dankzij de datasets, verkregen met de hoog-frequentie 3D laser-scanner, was een meer correcte bepaling mogelijk van de dynamische puinstroomparameters dan bij eerdere onderzoeksmethodes en kon de dynamiek van puinstromen veel beter worden geanalyseerd.

Het is de bedoeling van het onderzoeksteam van Illgraben om op basis van deze nieuwe datasets verder onderzoek te voeren en numerieke modellen te ontwikkelen, die ook toepasbaar zijn in andere regio's waar puinstromen voorkomen. Met deze nieuwe inzichten hoopt men om de gevarenbeperking te verbeteren en om de risico's van puinstromen in de toekomst verder te kunnen reduceren.

Na grondige literatuurstudie kan worden geconcludeerd dat Prof. Dr. Jordan Aaron en zijn team er wel degelijk zijn in geslaagd om een apparaat dat gemaakt was voor heel andere doeleinden, adequaat aan te wenden in een totaal nieuwe context. De originele onderzoeksmethode werd voorafgaandelijk zeer minutieus uitgetest in het labo, waardoor de studie in situ en de verwerking van de velddata zeer vakkundig en efficiënt zijn kunnen verlopen. Met hun innovatieve toepassing hebben ze zeker en vast in belangrijke mate kunnen bijdragen aan nieuwe inzichten in de moeilijke materie aangaande de dynamiek van puinstromen.

REFERENTIES

Aaron, J., Spielmann, R., McArdell, B. W., & Graf, C. (2023). High-Frequency 3D LiDAR Measurements of a Debris Flow: A Novel Method to Investigate the Dynamics of Full-Scale Events in the Field. *Geophysical Research Letters*, 50(5), e2022GL102373.
<https://doi.org/10.1029/2022GL102373>

Huebl, J., Arai, M., & Kaitna, R. (2019). Monitoring and modeling of debris-flow surges at the Lattenbach creek, Austria. Association of Environmental and Engineering Geologists; special publication 28.
<http://dx.doi.org/10.25676/11124/173228>

Boeren, I. (2023, January 17). 'De Pyreneeën tonen hoe de Alpen er morgen uitzien.' EOS Wetenschap.
<https://www.eoswetenschap.eu/natuur-milieu/de-pyreneeën-tonen-hoe-de-alpen-er-morgen-uitzien>

Bonneau, D. A., Hutchinson, D. J., McDougall, S., DiFrancesco, P. M., & Evans, T. (2022). Debris-flow channel headwater dynamics: examining channel recharge cycles with terrestrial laser scanning. *Frontiers in Earth Science*, 10, 883259.
<https://doi.org/10.3389/feart.2022.883259>

Bremer, M., & Sass, O. (2012). Combining airborne and terrestrial laser scanning for quantifying erosion and deposition by a debris flow event. *Geomorphology*, 138(1), 49-60.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.08.024>

Debris-flow observation station. (n.d.). 2024.
<https://www.wsl.ch/en/about-wsl/instrumented-field-sites-and-laboratories/experimented-field-sites-for-natural-hazards/feldbeobachtungen-und-datenerhebung/debris-flow-observation-station/>

Derouin, S., & Derouin, S. (2023, March 13). *Scientists just measured a debris flow in unprecedented detail*. Eos.
<https://eos.org/research-spotlights/scientists-just-measured-a-debris-flow-in-unprecedented-detail>

Eidg. Forschungsanstalt WSL. (2022, 4 november). *Geröll und Geschiebe im Illgraben: Wie kann sich die Bergbevölkerung vor Murgängen schützen?* [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=xyfVn-j2s>

Fauchère, P. (2017, 2 september). Anniviers: comment gèrent-ils le danger des laves torrentielles? *Le Nouvelliste*.
<https://www.lenouvelliste.ch/valais/valais-central/sierre-district/anniviers/zinal/anniviers-comment-gerent-ils-le-danger-des-laves-torrentielles-697880>

Gindraux, S. (2024, October 9). *Debris flow warning system (SALT)*. Research Center on Alpine Environment.
<https://www.crealp.ch/en/debris-flow-warning-system-salt/Illgraben>. (n.d.). Val D'Anniviers Tourism – Valais Switzerland.
<https://www.valdanniviers.ch/en/P110957/destination/culture-and-heritage/illgraben>

Lambiel, X. (2023, 10 juni). Le chantier des changements climatiques. *Le Temps*.
<https://www.letemps.ch/suisse/valais/chantier-changements-climatiques>

Morino, C., Conway, S. J., Balme, M. R., Hillier, J., Jordan, C., Sæmundsson, P., & Argles, T. (2019). Debris-flow release processes investigated through the analysis of multi-temporal LiDAR datasets in north-western Iceland. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(1), 144-159.
<https://doi.org/10.1002/esp.4488>

Ouster, Inc. (2024). *OS1 Gen 1 Mid-Range High-Resolution Imaging Lidar*.
<https://data.ouster.io/downloads/datasheets/datasheet-gen1-v2p0-os1.pdf>

Sin, A. (2017, 25 november). *Sécurisation du torrent du Péterey, à Zinal*. notreHistoire.ch.
<https://notrehistoire.ch/entries/b1Bo1RMdWkz>

Spielmann, R. (2020). *Analyzing extremely rapid, flow-like landslides using laser scanning and numerical modeling* (Bachelor's thesis).
<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000618112>

Spielmann, R. (2022). *Understanding Debris-Flow Motion through Detailed Analysis of Timelapse Point Clouds Collected by High-Frequency 3D LiDAR Scanners; Illgraben, Switzerland* (Master's thesis).
<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000618113>

Zufferey, P. (2021, 30 juni). *Illgraben 24.06.2021 - Anne, ma sœur Anne, ne vois-tu rien venir ? Upsss* [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=3FIce6AVv9Q>

KRITISCHE ZELFREFLECTIE

De materie van puinstromen vind ik een zeer boeiend onderwerp, omdat ikzelf de omgeving van de Illgraben zeer goed ken. Al meerdere keren heb ik met verstomming toegekeken welke schade dit natuurfenomeen kan aanrichten. Ook heb ik de bouw van een enorme opvangconstructie van nabij kunnen volgen.

Ik was er niet van op de hoogte dat LiDAR-sensoren werden gebruikt om puinstromen te onderzoeken. Toen ik op zoek was naar een onderwerp voor mijn paper en deze innovatieve toepassing van LiDAR aantrof, heb ik dan ook niet getwijfeld.

Vooreerst heb ik een uitvoerige literatuurstudie uitgevoerd om meer te weten te komen over de aangewende onderzoeksmethode in de Illgraben-kloof, en heb gezocht of LiDAR reeds op andere plaatsen werd aangewend voor onderzoek van puinstromen.

Vervolgens heb ik een paper geschreven volgens de richtlijnen die ons via de HOGENT werden medegedeeld. De juiste opvolging van deze richtlijnen verliep niet steeds even vlot, maar, na meerdere nalezingen en aanpassingen, meen ik dat het resultaat behoorlijk voldoet aan de voorschriften.

Wat betreft de inhoud van de paper, vind ik dat ik de essentie van de onderzoeksmethode overzichtelijk heb kunnen weergeven in deze eerder beknopte paper.

De correcte weergave van de auteursrechtelijk beschermde illustraties en afbeeldingen vond ik moeilijk, en niet zeer duidelijk in de richtlijnen.

De vermelding van referenties volgens APA-richtlijnen vind ik zeker niet eenvoudig, maar heb ik zo goed mogelijk geprobeerd volgens de gekregen informatie bij de opdracht..

Ik meen dat ik deze paper, zowel inhoudelijk als vormelijk, behoorlijk heb opgesteld. Ik denk tevreden te mogen zijn over het eindresultaat. De uitgevoerde opdracht heeft mij veel bijgeleerd over de toepassing van LiDAR bij het onderzoek van puinstromen.

Het correct gebruik van auteursrechtverklaringen voor illustraties en afbeeldingen is nog een werkpunt voor een volgende paper.