

DE ROL VAN LASERSCANNING EN FOTOGRAMMETRIE BIJ HET MONITOREN VAN ACTIEVE VULKANEN

Cor Ameels

HOGENT, Opleiding Vastgoed: Landmeten, Gent, België

SLEUTELWOORDEN: Vulkanologie, laserscanning, fotogrammetrie, tomografie

SAMENVATTING:

Deze paper onderzoekt de rol van laserscanning en fotogrammetrie bij het monitoren van actieve vulkanen. Dit gebeurt aan de hand van casestudies. Deze worden in deze paper geanalyseerd, enerzijds om de evolutie van de fotogrammetrische en laserscannende technologieën te bestuderen, anderzijds om enkele voorbeelden te geven op welke vlakken deze wetenschap nog vooruitgang kan boeken. Over het algemeen is deze paper bedoeld om een beter beeld en begrip te krijgen over de fotogrammetrie en laserscanning.

1. INTRODUCTIE

Het doel van deze paper is om, aan de hand van casestudies, een overzicht te geven van de relevante meetmethodes om vulkanische gebieden in kaart te brengen, de voordelen en beperkingen van elke meettechniek te bespreken en zo tot toekomstige mogelijkheden en aanbevelingen voor toekomstige vulkanische studies te komen.

Het opvolgen van vulkanen is essentieel om socio-economische en ecologische rampen te voorkomen of beperken. De topografische kenmerken van vulkanen spelen hierbij een belangrijke rol om te voorspellen waar uitbarstingen zullen plaatsvinden. De interne structuur van de vulkanen kan dan weer een essentieel inzicht geven in de zwakke plekken van de vulkaan, waardoor ook de tijdstippen van uitbarstingen kunnen voorspeld worden. Samen met de wetenschap van de vulkanologie, die onder andere de uitbarstingspatronen en vulkaanfysica bestudeert, wordt deze info gebruikt om efficiënte voorzorgsmaatregelen en evacuatieplannen op te stellen.

2. HOOFDTEKST

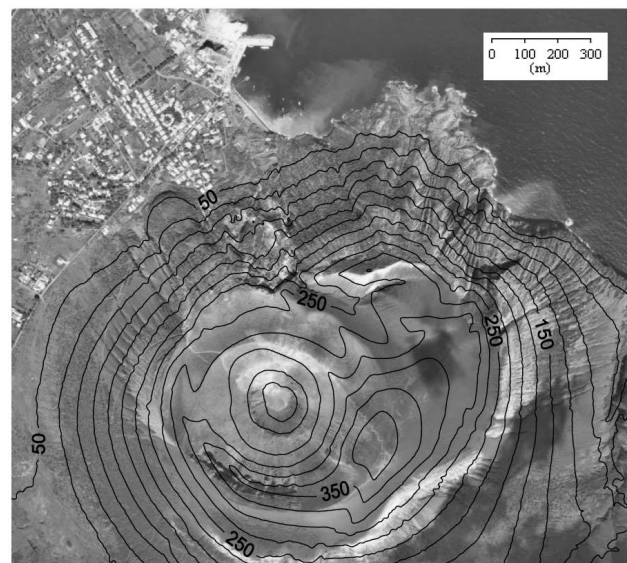
2.1 Het opmeten van het vulkanisch terrestrisch oppervlak

2.1.1 De introductie van elektronische meetapparaten in de vulkanologie

Historisch gezien waren de meetmethoden voor vulkanische activiteit beperkt tot visuele observaties en eenvoudige landmetingen met waterpastoestellen en theodolieten. Deze soorten metingen waren echter zeer oppervlakkig en zeer beperkt door de gevaarlijke en vaak ontoegankelijke aard van deze vulkanische gebieden.

Op het Italiaanse eiland Vulcano, gelegen ten noorden van Sicilië, is men sinds de jaren '80 actief bezig de vulkanische activiteiten te monitoren (Baldi et al. 1998). Deze vulkaan werd lang als inactief beschouwd, maar door recente aardbevingen in de buurt ervan werd geopteerd om de vulkaan terug te monitoren om mogelijke rampen te voorkomen. Doordat het al zo lang geleden

was dat deze vulkanen aandacht vereisten, en door recente aardverschuivingen op het eiland, waren de kennis en de kaarten van deze vulkanencluster sterk verouderd, onnauwkeurig of zelfs niet meer toepasselijk op de huidige werkelijke toestand.



Om deze vulkanencluster terug in kaart te brengen gebruikte men vanaf 1971 zowel GPS als fotogrammetrie. Het voordeel van fotogrammetrie was dat deze techniek een volledig beeld van het oppervlak opleverde. Deze metingen werden uitgevoerd vanuit fotogrammetriestations op de grond, waarvan de data gecombineerd werd tot een DEM (Digital Elevation Model) waarbij de hoogtewaarden nauwkeurig waren binnen een interval van 0,50m (Achilli et al. 1998). Deze data kon gebruikt worden om de volumeverschillen van de aardverschuivingen te schatten, maar was nog steeds niet van de gewenste nauwkeurigheid.

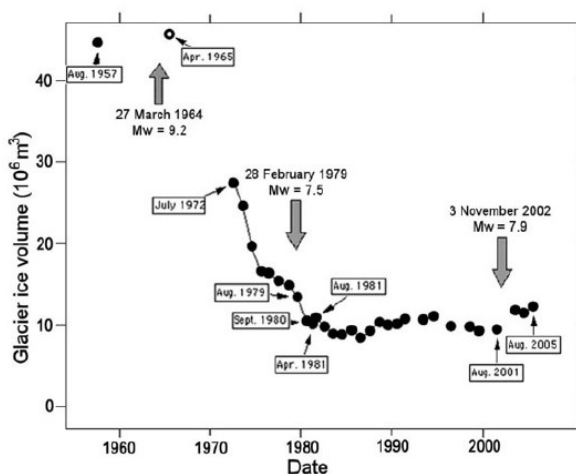
2.1.2 Het eerste gebruik van luchtfotogrammetrie

Luchtfotogrammetrie was al sinds de Eerste Wereldoorlog een gekende techniek in de militaire wereld, maar werd na de Tweede Wereldoorlog ook ingezet voor andere doeleinden, zoals de vulkanologie. Een goede case om dit voorbeeld te bespreken is

de toepassing van fotogrammetrie bij de studie van Mount Wrangell in Alaska (Benson & Follett, 1986).

Dit was één van de eerste cases waar luchtfotogrammetrie werd ingezet in de vulkanologie, enerzijds omdat het Amerikaanse leger de techniek zodanig onderzocht had, en anderzijds voor de unieke wetenschappelijke opportuniteit om de wisselwerking tussen de vulkaan en het ijskoude landschap te monitoren. In het geval van vulkanische gebieden werd de eerste luchtfotogrammetrie gebruikt om het moeilijk toegankelijke terrein in kaart te brengen, wat zeker het geval was in het ruige landschap van Alaska.

De luchtfotografie werd gecombineerd met grondcontrolepunten: net zoals terrestrische metingen worden er vaste punten als 'targets' vastgelegd. Deze targets werden wel nog via theodolietmetingen uitgezet en ingemeten. Deze techniek maakte het mogelijk om veranderingen in hoogte en volume van de kraters op te volgen, alsook de volumeveranderingen van de gletsjers die rond de vulkaan gevestigd waren, wat daarvoor onmogelijk was met conventionele landmetingen. Omdat de observatie van Mount Wrangell in 1957 zich nog afspeelden voor de brede ontwikkeling van GPS en GNSS, werden er nog geen GPS-toestellen geïntegreerd in de vliegtuigen of bij het opmeten van de targets.



Voor de luchtfotogrammetrische metingen werd gebruik gemaakt van Trimetrogoncamera's. Deze camera's waren zo ontworpen dat ze gelijktijdig drie foto's namen: één verticaal naar beneden en twee naar elke zijkant (links en rechts). Hierdoor verkreeg men een breed gezichtsveld en maakte het mogelijk om grote delen van het vulkanische oppervlak te fotograferen in één vlucht. Aangezien onbemande vliegtuigtoestellen pas in het begin van de 21^e eeuw de kop op staken, waren deze vluchten steeds bemand. Ook gaf de bemanning van het vliegtuig de mogelijkheid van de piloot om rond de ruige of mistige weersomstandigheden te vliegen en zo de kwaliteit van de metingen te waarborgen.

2.1.3 De eerste onbemande terrestrische fotogrammetrie
Alvorens de onbemande luchtvaart voor fotogrammetrie ter sprake kwam, ontpopte zich rond 2000 een nieuwe technologische innovatie die ingezet kon worden op vulkanisch

gebied: de onbemande rijvoertuigen. Deze techniek bracht een nieuw voordeel met zich mee: het bereiken van gebieden die voor de mens onmogelijk te bereiken waren. Dit gaat dan minder over de ruwe terreinaard die in de vorige alinea besproken zijn, maar over factoren die de veiligheid van een levend wezen in gevaar konden brengen, zoals de instortingsgevoelige gebieden, de hoge temperaturen en de toxische gassen.

Deze UGV's (Unmanned Ground Vehicles) waren uitgerust met stereografische camera's: dit zijn camera's die gelijktijdig twee foto's trekken vanuit licht verschillende hoeken, zoals wij als mens dieptezicht kunnen creëren met onze ogen. Ook waren deze voertuigen uitgerust met een eigen ingebouwd GPS-systeem, waardoor het niet langer het opzetten van targetpunten vereiste.

2.1.4 De eerste onbemande aviatische fotogrammetrie
Vanaf vroeg 2000 komt er een nieuwe technologie op de markt: de UAV (Unmanned Aerial Vehicles), oftewel de onbemande vliegtuigen of drones. Deze techniek werd populair rond 2010, en was de voornaamste meettechniek tijdens het meten van de Strombolivulkaan in Italië.

De UAV's zijn uitgerust met camera's met hoge resolutie en ingebouwde GPS-systemen, waardoor nauwkeurige 3D-modellen van het terrein konden worden samengesteld zonder dat de landmeters of vulkanologen in gevaarlijke gebieden hoefden te komen.

De bedoeling van de UAV-fotogrammetrie is om vanuit de lucht overlappende foto's te trekken, die daarna kunnen worden samengesteld tot een puntenwolk. Deze puntenwolk wordt vervolgens omgezet in een digitaal terreinmodel, waardoor men een actueel en nauwkeurig beeld van het terrein verkrijgt. Bij actieve vulkanen is actualiteit zeer belangrijk, aangezien er vaak veranderingen in het aardoppervlak voorkomen door bijvoorbeeld scheuren of aardverschuivingen.

De voordelen van deze drones is dat het, ten opzichte van andere meetmethodes, aanzienlijk sneller en goedkoper is voor grote oppervlaktes. Door die snelheid en relatief aanvaardbare kostprijs zijn de metingen dus ook op regelmatige basis uit te voeren, wat ervoor zorgt dat de vulkanen dus zeer nauw op de voet kunnen opgevolgd worden. Het voordeel dat de drones hebben over de UGV's is dan weer dat de hellingen die te stijl zijn om te bereiden ook zeer nauwkeurig vanuit de lucht kunnen opgenomen worden, alsook de kraters die te diep zijn om terrestrisch te bereiken.

Ondanks hun voordelen, ondervinden de drones ook problemen bij fotogrammetrie van vulkanen. Een van de grootste problemen is de impact van rook en wind, die de zichtbaarheid kunnen beperken en de GPS-signalen kunnen verstoren. Dit zijn dan weer nadelen waar de UGV minder last van ondervindt.

2.2 Het opmeten van het interne vulkanisch volume

Het opmeten van ondergrondse vulkanische volumes vereist een heel andere techniek. Fotogrammetrie en laserscanning zijn door de onbereikbare aard van de vulkanische volumes nagenoeg altijd onmogelijk.

De DIAPHANE-collaboratie specialiseert zich in deze toepassing. Om interne driedimensionale volumes op te meten, maken zij gebruik van tomografie. Tomografie is een techniek waarbij golven of straling door solide objecten kunnen worden uitgezonden en waardoor men dus, door van uit verschillende invalshoeken deze meting te doen, een vrij nauwkeurig beeld kan krijgen.

Meer bepaald onderzocht de DIAPHANE-collaboratie de toepassing van muon-tomografie op vulkanische volumes, zoals ze in 2016 een verslag ervan publiceerden. Zoals de naam impliceert, maakt muon-tomografie gebruik van muonen, subatomaire deeltjes die door solide volumes kunnen gestraald worden. Door twee detectoren aan beide kanten van de vulkaan te plaatsen, kan men het verschil berekenen van het aantal verzonden deeltjes ten opzichte van het aantal toegekomen deeltjes. Hierdoor kan men, als men deze meting een aantal keer uitvoert, dus een goed beeld schetsen van de dikte van de krater en kraterwand. Deze techniek is dus perfect om de dichtheidsstructuren in de vulkanen te detecteren, en gepaard met een nauwkeurige oppervlaktmeting kan dit mogelijke zwaktes in de vulkaanwand, en dus uitbarstingsplekken voorspellen.

2.3 Hedendaagse meetmethodes

Voor het over de mogelijke verbeteringen in de toekomst kan gaan, is het nodig om de meest hedendaagse meetmethodes te analyseren.

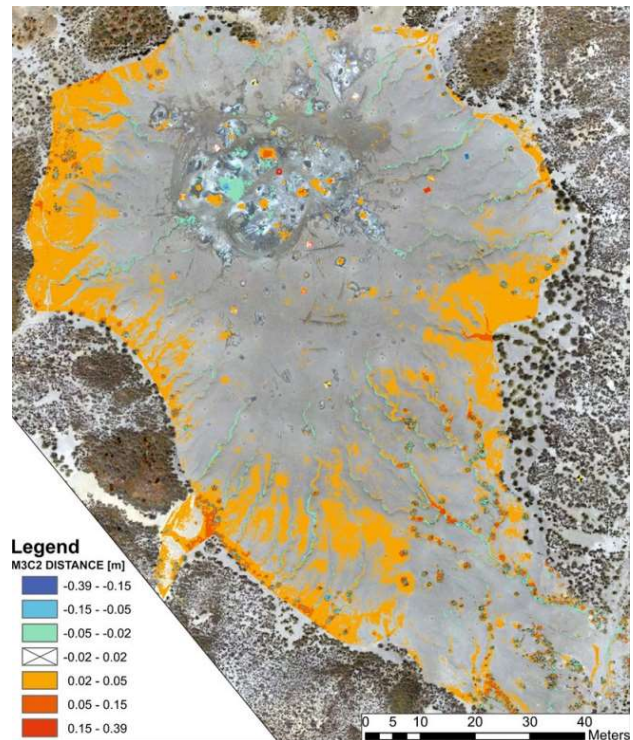
2.3.1 De moddervulkaan Villagio Santa Barbara

Deze casestudy onderzoekt de toepassing van fotogrammetrie voor het monitoren van de Villagio Santa Barbara moddervulkaan.

Een moddervulkaan is doorgaans minder explosief en gevaarlijk van aard, vooral omdat deze geen lava bevat, maar kan toch schade berokkenen aan zijn omgeving door de modderstromen die het kan veroorzaken bij uitbarsting.

Door de niet-betreedbare aard van een moddervulkaan was er nood aan een non-invasieve manier om deze vulkaan in kaart te brengen. Luchtfotogrammetrie aan de hand van UAV's bleek hiervoor de optimale toepassing. Over verschillende seizoenen werd de vulkaan met hoogwaardige camera's geobserveerd. Hierdoor kan men, met de hoge nauwkeurigheid van de toestellen, de veranderingen in het modderoppervlak tot op de millimeter waarnemen en zo de massaverplaatsingen monitoren en proberen voorspellen.

Voor deze meting werd gebruik gemaakt van een theodoliet en een prisma om de GCP (ground control points) te lokaliseren. Deze GCP zijn van essentieel belang om de nauwkeurigheid en georeferentie van de meting te garanderen.



Voor de luchtfoto's werd gebruik gemaakt van een DJI Phantom 4 Standard, uitgerust met een camera met sensor grootte 6.17 mm op 4.55 mm en een beeldresolutie van 12 megapixels. De beelden die deze meting opleverden werden verwerkt met Agisoft Photoscan.

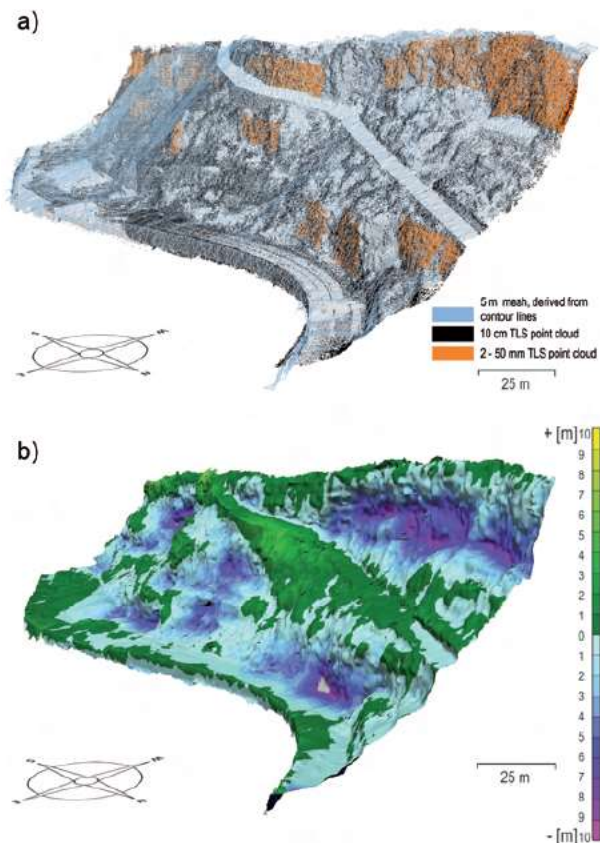
Deze technieken brengen ook beperkingen met zich mee: ten eerste is de kwaliteit van de meting sterk afhankelijk van de camerakwaliteit en de externe factoren die de beeldkwaliteit kan beïnvloeden, zoals het weer. Ten tweede is, hoewel deze techniek voldoende inzichten geeft in de oppervlakkige structuur van de vulkaan, zijn er vaak meerdere methodes nodig om een compleet zicht op de interne structuur en bewegingen te verkrijgen.

2.3.2 Vulkanische rotshellingen in Madeira

Deze casestudy onderzoekt de toepassing van laserscanning voor het monitoren van de vulkanische rotshellingen in Madeira. Het doel van deze metingen waren om de stabiliteit van deze rotswanden te beoordelen.

Terrestrische laserscanning ontleende zich als optimale meetmethode voor deze situatie. Deze Optech ILRIS-3D scanners, werden opgesteld op de overstaande vallei. Ze zenden een laserstralen met een golflengte van 1500nm uit.

Het grootste voordeel aan terrestrische laserscanning is dat deze techniek millimeternauwkeurig is en vaak scheuren en barsten kan opmerken die met het blote oog niet zouden opgemerkt worden. Toch werd er voor een resolutie van enkele centimeters gekozen, wegens de gigantische oppervlakte van de site. Zo werd de verwerkingssnelheid niet substantieel vertraagd. Deze verwerking werd uitgevoerd met de software Polyworks uitgevoerd.



De keuze voor terrestrische laserscanning is het gevolg van de moeilijkheden die het terrein met zich meebracht. Ook is deze methode minder intensief en minder storend voor de omgeving. De grootste moeilijkheid die de laserscanning met zich meebracht was het feit dat de helling ook een thuis bood aan verschillende vegetatie, waardoor er soms valse waarden werden weergegeven.

2.4 Mogelijke verbeteringen in de toekomst

Hoewel de wetenschap omtrent fotogrammetrie en laserscanning al ver gevorderd zijn in de laatste jaren, kunnen er steeds verbeteringen toegepast worden.

Zo eisen de huidige meettechnieken steeds een groot deel aan handmatige input om bijvoorbeeld data te linken. Hierbij kan de integratie van een andere recente technologische innovatie, namelijk artificiële intelligentie, een enorme aanwinst zijn. Gezien de recente technologische vooruitgangen in deze sector, is het niet onrealistisch te denken dat binnenkort de eerste toestellen met AI-integratie op de markt zullen komen.

Een andere technologische trend is het steeds compacter maken van elektronische systemen. In de wereld van fotogrammetrie en laserscanning kan dit voordelen opleveren zoals kleinere drones, die een hogere behendigheid hanteren, of UGV's die zich in nauwere gaten en tunnels kunnen verplaatsen.

3. CONCLUSIE

De ontwikkeling van de besproken meetmethodes, meer bepaald fotogrammetrie en laserscanning heeft ervoor gezorgd dat wetenschappers een dieper beeld kunnen krijgen in de vulkanische processen. Hierdoor kan men op een efficiëntere en veiligere manier ingrijpen bij mogelijke uitbarstingen, als dit nodig zou zijn, aangezien deze technieken ook een voorspelbaar beeld kunnen geven van actieve vulkanen. Het combineren van verschillende meettechnieken garanderen een completer en nauwkeuriger beeld in de vulkanische geografie. Hoewel deze innovaties grote vooruitgangen hebben gebracht, blijven er gebreken bestaan, zoals weersafhankelijke meetnauwkeurigheid, apparatuurlimities en de behoefte aan handmatige dataverwerking. Toekomstige verbeteringen, zoals de integratie van AI en miniaturisatie, beloven deze beperkingen te verminderen.

REFERENTIES

Baldi, P., Bonvalot, S., Briole, P., Marsella, M., Università di Bologna, Dipartimento di Fisica, IRD, Laboratoire de Geophysique, Institut de Physique du Globe de Paris, UMR 7580 CNRS, Laboratoire de Sismologie, & Università di Roma "La Sapienza", DITS. (2000). Digital photogrammetry and kinematic GPS applied to the monitoring of Vulcano Island, Aeolian Arc, Italy. In *Geophys. J. Int.* (Vol. 142, pp. 801–811)

[Journal-article]. RAS.

<https://academic.oup.com/gji/article/142/3/801/611314>

Benson, C. S., Geophysical Institute, University of Alaska, Fairbanks, AK 99775-0800, Follett, A. B., & North Pacific Aerial Surveys, Inc., Anchorage, AK 99503. (1986). Application of Photogrammetry to the study of Volcano-Glacier Interactions on Mount Wrangell, Alaska. In *PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING AND REMOTE SENSING* (Vols. 52–52, Issue 6, pp. 813–827).

Benson, C., Motyka, R., McNutt, S., Lüthi, M., & Truffer, M. (2007). Glacier–volcano interactions in the North Crater of Mt Wrangell, Alaska. *Annals of Glaciology*, 45, 48–57.

<https://doi.org/10.3189/172756407782282462>

Gracchi, T., Stefanelli, C. T., Rossi, G., Di Traglia, F., Nolesini, T., Tanteri, L., & Casagli, N. (2022). UAV-Based Multitemporal Remote Sensing Surveys of Volcano Unstable Flanks: A Case Study from Stromboli. *Remote Sensing*, 14(10), 2489.

<https://doi.org/10.3390/rs14102489>

Eisenbeiss, H. (n.d.). *The potential of unmanned aerial vehicles for mapping* [Journal-article].

Graça, N., Mitishita, E., & Gonçalves, J. (2014). Photogrammetric mapping using unmanned aerial vehicle. *the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences/International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL–I, 129–133.

<https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-1-129-2014>

Marteau, J., 1, De Bremond D'Ars, J., Gibert, D., Jourde, K., Ianigro, J.-C., Carlus, B., Institut de Physique Nucléaire de Lyon (CNRS UMR 5822), Université de Lyon, Université Claude Bernard, Lyon, France, OSUR - Géosciences Rennes (CNRS UMR 6118), Université Rennes 1, Rennes, France, & National Volcano Observatories Service, Institut de Physique du Globe de Paris (CNRS UMR 7154), Paris, France. (2016). DIAPHANE : Muon tomography applied to volcanoes, civil engineering, archaeology. *Arxiv*.

Brighenti, F., Carnemolla, F., Messina, D., De Guidi, G., Department of Biology, geology and Environmental Sciences, University of Catania, CRUST-Interuniversity Center for 3D Seismotectonics with territorial applications - UR-UniCT, & Independent Researcher. (2020). UAV survey method to monitor and analyze geological hazards: The Case study of the mud volcano of Villaggio Santa Barbara, Caltanissetta (Sicily). In *Department of Biology, Geology and Environmental Sciences, University of Catania*.

Nguyen, H. T., Fernandez-Steege, T. M., Wiatr, T., Rodrigues, D., & Azzam, R. (2011). Use of terrestrial laser scanning for engineering geological applications on volcanic rock slopes – an example from Madeira island (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(3), 807–817.
<https://doi.org/10.5194/nhess-11-807-2011>