

# Bericht Challenge Steinschlagrisiko



(Brunner Images, 2017)

Studenten: Patrick Schürmann, Thomas Mandelz, Lukasz Gothszalk und Julia Lobaton

Fachexperte: Prof. Dr. Rocco Custer

Datum: 06.01.2022

## Inhalt

Aufgabenstellung.....	3
Ausgangslage .....	3
Grafiken & Verteilungen.....	3
Vorgehen und Berechnungen .....	6
Empfehlung .....	7
Quellennachweis .....	8

## Aufgabenstellung

In dieser Challenge haben wir die Wahrscheinlichkeit von Todesfällen infolge eines Steinschlages berechnet.

Bei der betroffenen Strasse handelt es sich um die Kantonsstrasse unterhalb von Schiers im Kanton Graubünden. Der betroffene Strassenabschnitt ist mit Steinauffangnetzen gesichert. Diese sind jedoch schon älter und können die benötigte Sicherheit nicht mehr gewähren und müssen ersetzt werden. Die Planung für neue Netze hat bereits begonnen. Diese sind aber frühestens in einem Jahr einsatzbereit.

In den letzten Monaten wurden mehrere Steinschläge verzeichnet. Das Gefahrenpotential, dass bei weiteren solchen Ereignissen die Netze kaputt gehen und die Verkehrsteilnehmer einem grossen Risiko ausgesetzt sind, muss erarbeitet werden.

Wir wurden vom Kantonsingenieur beauftragt, mit den vorhandenen Daten, die Wahrscheinlichkeit eines Todesfalls zu berechnen. Die Strasse kann offenbleiben, sofern die jährliche Wahrscheinlichkeit von Todesfällen infolge eines Steinschlages kleiner als  $10^{-4}$  ist.

## Ausgangslage

Für die Planung der neuen Sicherheitsnetze wurden über drei Monate die Daten der Steinschlagereignisse von einem sehr präzisen Radar gemessen und von einem Experten geschätzt. Es wurden Steingeschwindigkeit, Steinmasse und Zeitpunkt des Falles registriert.

Gemäss einer Einschätzung des beauftragten Ingenieurbüros sind die Netze bis zu einer Aufprallenergie von 1000 kJ sicher. Sollte jedoch schon eine Steinmasse mit über 2000 kg im Netz liegen, hält das Netz nur noch einen Stein mit einer Aufprallenergie von höchstens 500 kJ.

Die Steine in den Sicherheitsnetzen werden nach spätestens 24 Stunden entfernt.

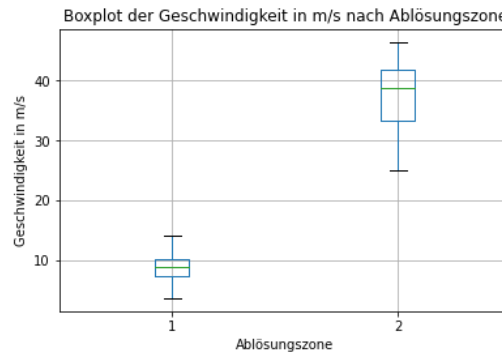
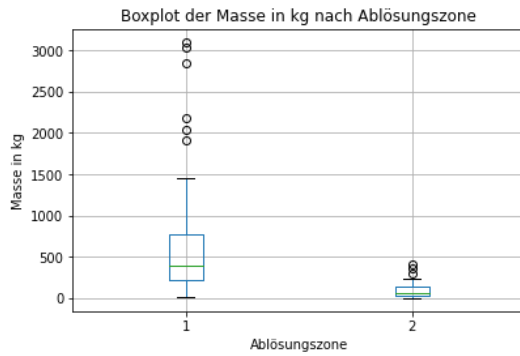
Täglich fahren 1200 Autos auf dieser Strasse, mit einer erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h. Stau wurde auf der Strecke nicht beobachtet.

Die Kantonsstrasse ist für die Region sehr wichtig und verbindet Schiers mit Landquart und Davos. Für die Bewohner ist es wichtig, dass die Strasse offenbleibt und gesichert ist. Falls die Strasse gesperrt wird, müssten die Einwohner von Schiers und der Umgebung einen grossen Umweg fahren für medizinische Hilfe, die Feuerwehr, die Arbeit, die Schule oder um ein öffentliches Amt zu erreichen.

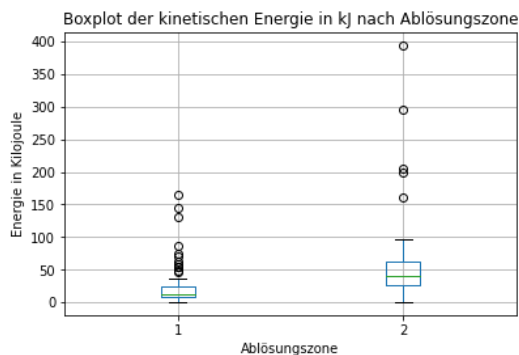
## Grafiken & Verteilungen

Bei der Analyse der Verteilung der Masse nach den beiden Ablösungszonen haben wir festgestellt, dass aus der Zone 1 zwar viele Steine mit einem Gewicht von weniger als 1'000 kg runtergefallen sind, es allerdings signifikante Ausreisser bis über 3'000 kg gab. Aus der Zone 2 haben sich eher leichtere Steine, mit einer Masse bis maximal 500 kg gelöst.

Bei der Geschwindigkeit haben wir eine gegenteilige Erkenntnis gewonnen. Steine aus der Zone 2 sind allesamt schneller ins Netz gefallen. Wir kennen das genaue Profil des Hangs zwar nicht, doch dürfte zu erwarten sein, dass schwerere Steine eher rollen, respektive häufiger aufspringen und dadurch an Geschwindigkeit verlieren. Es ist auch möglich, dass die Zone 2 deutlich höher als Zone 1, liegt.

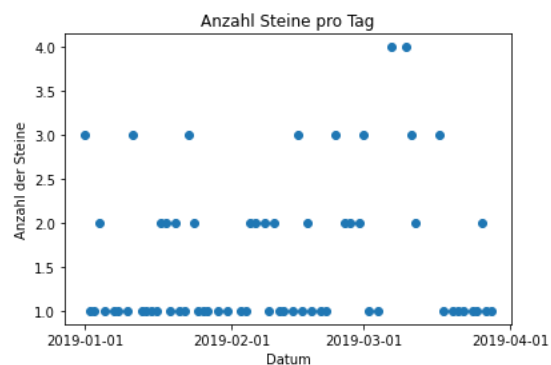
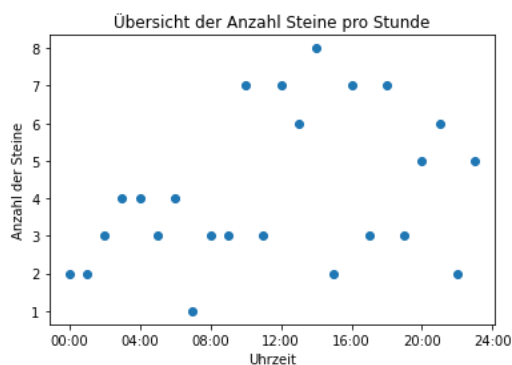


Die Analyse der kinetischen Energie nach Ablösungszonen bestätigt das Bild mit den unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Steine aus der Zone 1 fallen mit einer deutlich kleineren kinetischen Energie ins Fangnetz. Bei Zone 2 sind zwei sehr grosse Ausreisser zu erkennen.



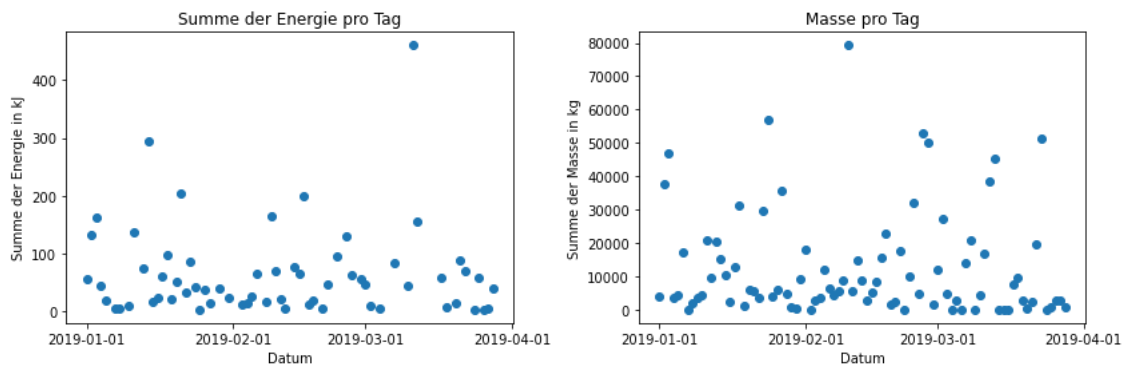
Bei der Analyse der Anzahl Steine nach Uhrzeit ist keine klare Verteilung ersichtlich. Zwar gibt es ab 8 Uhr ein paar Stunden mit überdurchschnittlich vielen Steinen pro Stunde, doch ist der Durchschnitt nur geringfügig höher als in der Nacht.

Wir konnten auch keine nennenswerte Änderung auf Tagesbasis im Verlauf der drei Monate feststellen.



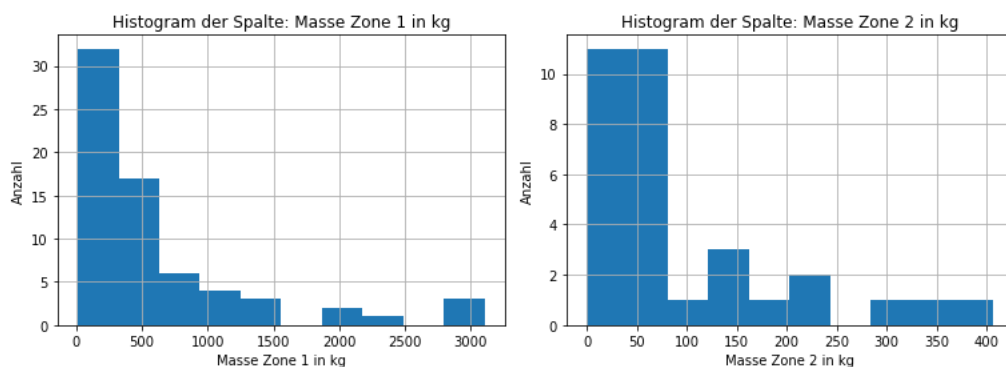
Dasselbe gilt für die summierte Energie pro Tag.

Bei der summierten Masse pro Tag wird auch ersichtlich, wie es einzelne Tage gibt, an denen grössere Massen ins Netz runtergefallen sind. Doch lässt sich daraus optisch sowie mittels Kolmogorov-Smirnov Test keine Verteilung eindeutig erkennen.

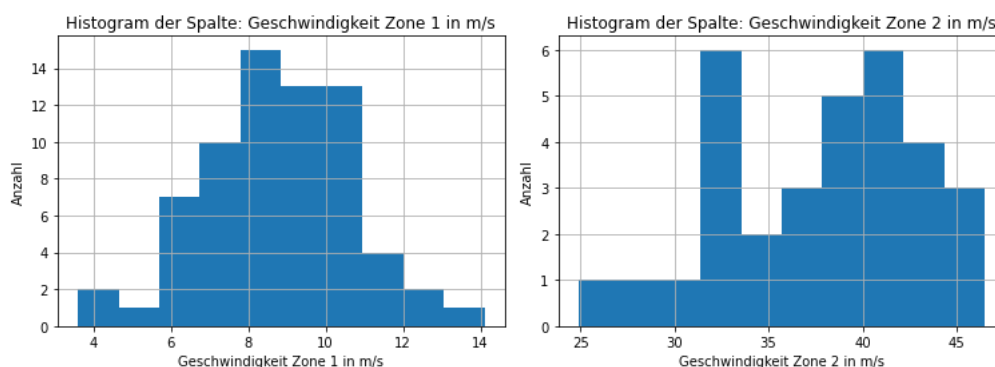


Für die Monte Carlo Simulation war die Überprüfung der Verteilungen der Massen, Geschwindigkeiten und Zeitabstände pro Zone essentiell um diese mit den korrekten Verteilungen zu simulieren.

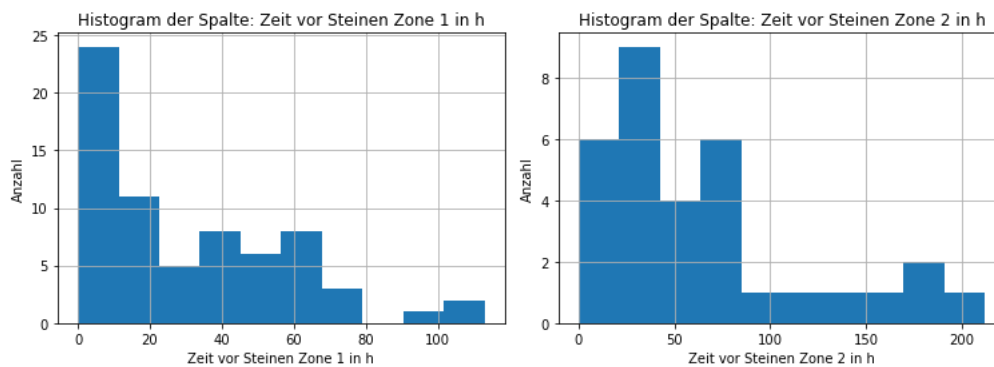
Verteilung der Massen in kg:



Verteilung der Geschwindigkeit in m/s:



Verteilung der Zeitabstände in Stunden vor dem nächsten Steinfall:



## Vorgehen und Berechnungen

Bei unserem ersten Kickoff Meeting notierten wir uns, welche Informationen und Modellparameter bereits vorgegeben sind. Dabei erarbeiteten wir einige Fragen welche Unklarheiten und Modellierungsgrenzen betrafen. Diese konnten wir zum Grossteil mit Rocco klären.

Eine Frage, welche uns von Anfang an beschäftigt hat, war ob die Netze rollierend alle 24 Stunden geleert werden oder ob dies zu einem fixen Zeitpunkt einmal am Tag geschieht. Die Antwort auf diese Frage war wichtig für unsere Berechnungen. In unserer Endrechnung haben wir schlussendlich mit einem fixen Zeitpunkt alle 24 Stunden gerechnet.

Mit den gegebenen Daten machten wir zuerst einige Plots um die Daten zu visualisieren. Danach begannen wir mit den Berechnungen.

Zuerst wurde für jeden gemessenen Stein die kinetische Energie mittels folgender Formel berechnet:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Weiter haben wir für jeden Stein pro Zone den Zeitabstand zum vorherigen Steinfall berechnet. Dazu wurde eine Stundendifferenz zwischen den Steinen mittels Subtraktion gerechnet. Für die Auswertungen haben wir weiter die rollierende 24-Stunden Masse im Netz berechnet.

Im weiteren Schritt haben wir die Verteilung der sechs Variablen mittels Kolmogorov-Smirnov Test überprüft. Dazu haben wir die gängigsten Verteilungen von Scipy verwendet. Die sechs Variablen sind die Masse, Geschwindigkeit und Zeitabstände zwischen den Steinen für beide Zonen. Für alle sechs Variablen haben wir eine Monte Carlo Simulation durchgeführt. Wir simulierten 50 Mio. Steine, aufgeteilt auf das Verhältnis der Anzahl registrierten Steine aus den Zonen. Die Parameter waren einerseits die zuvor bestimmten Verteilungen und die zu den Daten gehörenden Mittelwerte (plus Standardabweichung für die Normal-Verteilung). Für die simulierten Steine konnten wir anhand der Masse und Geschwindigkeit mittels der obengenannten Formel die kinetische Energie ebenfalls berechnen.

Nach diesem Schritt konnten bereits die simulierten Steine, die das Netz direkt durchschlagen haben, berechnet werden. Dabei wurde der vorgegebene Richtwert von 1'000 kJ verwendet.

Zur Berechnung der Anzahl Steine, die aufgrund des vollen Netzes auf die Strasse fallen, mussten zuerst die simulierten Steine aus beiden Zonen in einen einheitlichen Zeitstrahl gebracht werden.

Anhand des Zeitstrahls wurde jeder Tag, an dem im Netz die kritische Masse von über 2'000 kg lag, ersichtlich. Ist an diesen Tagen auch ein Stein mit einer Energie von über 500 kJ gefallen, haben wir überprüft, ob dieser Stein das Netz durchbrochen hat. Falls die Masse im Netz bei diesem Stein noch zu klein war, wurde kein Netzdurchschlag registriert.

Anhand der Berechnung mit direkten Netzdurchschlägen und gerissenen Netzen konnten wir die Wahrscheinlichkeit, dass ein Stein pro Jahr auf der Strasse landet, berechnen. Dazu wurde die Summe der Netzdurchbrüche durch die Anzahl der simulierten Jahre dividiert.

Für die Wahrscheinlichkeit, dass ein Auto getroffen wird oder nicht mehr bremsen kann und somit einen Unfall hat, berechneten wir zuerst die Anzahl Autos pro Stunde.

Als Reaktionsweg und Bremsweg in einer Gefahrensituation definierten wir 36 Meter (Gebhardt, 2018) und für die durchschnittliche Autolänge 4,4 Meter (Baz, 2018). Diese Annahmen addiert, ergab somit eine Gefahrenzone von 40,4 Metern. Die 60 km/h rechneten wir in 16.66 m/s um.

Anhand von diesen Zahlen berechneten wir die Wahrscheinlichkeit pro Tag, dass ein Auto in der Gefahrenzone ist. Den durchschnittlichen Besetzungsgrad der Autos in Graubünden legten wir auf 1.66 Personen fest (Hartmann & Walter, 2018). Wir rechneten mit der Wahrscheinlichkeit, dass ein Steinschlag in 4 von 14 Fällen auf Kantonsstrassen tödlich endet (Gerber, 2019). Als letzten Schritt multiplizierten wir die errechneten Wahrscheinlichkeiten zu einer bedingten Kausalkette von Wahrscheinlichkeiten.

## Empfehlung

Anhand der beschriebenen Simulationen der Steinschläge empfehlen wir, die Strasse zu schliessen. Wir haben berechnet, dass die Sterbewahrscheinlichkeit pro Jahr 0.00017 beträgt, was über dem Grenzwert von 0.0001 liegt. Die Differenz ist deutlich und hat sich in fünf Durchläufen bei einer Anzahl von jeweils 50 Mio. simulierter Steinschläge als robust bewiesen.

In einem weiteren Schritt könnten Massnahmen überprüft werden, damit die Strasse geöffnet bleiben kann. Wir haben simuliert, wie sich die Sterbewahrscheinlichkeit verändert, wenn das Netz nicht nur täglich, sondern regelmässiger geleert werden. Dabei haben wir festgestellt, dass die Strasse bis zu einer Reaktionszeit von 12 Stunden geöffnet bleiben könnte. Weiter wurde in Brienz/Brinzauls GR gute Erfahrungen mit einer Radaranlage, die die Strasse während eines Abgangs automatisch sperren kann, gemacht (Geopraevent, 2018; Scott, 2021). Mit einer Mischung weiterer Massnahmen könnte eine offen gebliebene Strasse gerechtfertigt sein.



## Quellennachweis

Baz. (2018, Mai 7). *Autos werden immer breiter und länger*. <https://www.bazonline.ch/auto/autos-werden-immer-breiter-und-laenger/story/25635086>

Brunner Images. (2017). *Bild*.

<https://oekastatic.orf.at/static/images/site/oeka/20170935/steinschlag.5649584.jpg>

Gebhardt, M. (2018, April 24). *Bremsweg Berechnung*. So wird der Bremsweg berechnet.

[https://www.autobild.de/artikel/bremsweg-formel-13443369.html#anchor\\_1](https://www.autobild.de/artikel/bremsweg-formel-13443369.html#anchor_1)

Geopraevent. (2018, November 25). *Steinschlagradar Brienz*.

<https://www.geopraevent.ch/project/steinschlagradar-brienz/>

Gerber, W. (2019). *Naturgefahr Steinschlag – Erfahrungen und Erkenntnisse—SLF*.

<https://www.slf.ch/de/newsseiten/2019/03/naturgefahr-steinschlag-erfahrungen-und-erkenntnisse.html>

Hartmann, P., & Walter, P. (2018, April 1). *Mikrozensus Graubünden*. Mobilität in Graubünden.

[https://www.gr.ch/DE/Medien/Mitteilungen/MMStaka/2018/MedienDokumente/Bericht\\_Mikrozensus\\_2015\\_ohneAnhang.pdf](https://www.gr.ch/DE/Medien/Mitteilungen/MMStaka/2018/MedienDokumente/Bericht_Mikrozensus_2015_ohneAnhang.pdf)

Scott, T. (2021, November 8). *Why this „falling rocks“ sign is more important than most*.

<https://www.youtube.com/watch?v=o-oVXYkBwgw>