

Analyse seismischer Daten eines Vulkans



Abschlussbericht der Kooperationsphase 2018/19

Durchgeführt am Geophysikalischen Institut des Karlsruhe Institute of Technology
Betreuerin: Alicia Rohnacher

Jerome Bleyel
Sperberweg 24/1
75045 Walzbachtal

Lena Reiser
Gärtnerstraße 23
76698 Umstadt-Weiher

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Der Vulkan	1
2.1	Vulkane allgemein	1
2.2	Santiaguito	2
2.3	Hypothese	3
3.	Material und Methoden	3
4.	Auswertung der Messwerte	4
4.1	Kreuzkorrelation	4
4.2	Programmierung mit Python	6
4.2.1	Anforderungen an ein Programm zur Kreuzkorrelation	6
4.2.2	Kreuzkorrelationsprogramm	6
4.2.3	Katalogprogrammierung	7
5.	Ergebnisse	8
5.1	Häufigkeit der Gasaustritte	8
5.2	Geschwindigkeitsmaxima der Gasaustritte	9
6.	Diskussion	10
6.1	Fehlerdiskussion	10
6.2	Fazit	11
6.3	Ausblick	11
	Danksagung	12
	Quellen	13
	Anhang	14
	Selbstständigkeitserklärung	16

Abstract

Since the beginning of the earth, volcanoes endanger everyone, humans, animals and plants. Nowadays many volcanoes are not active anymore but there are still some of these beautiful and dangerous mountains left, such as the volcano 'Santiaguito' in Guatemala, Central America. This volcano consists of four active so-called domes, which erupt daily, making the volcano very interesting for seismologists. But not just seismologists want to explore this volcano, our project is also about the Santiaguito. We wrote a program which shows us regularities of signals coming from the volcano. These signals were recorded by the seismographs of the KIT (Karlsruher Institut für Technologie). Having found the regularities, we wrote another program to show the signals we found so that we can create statistics. These statistics can show us, how often a certain signal appears a day which gives us the possibility to make predictions about future signals and eruptions.

1.1 Einleitung

Seit Bestehen des Erdplaneten sind auf diesem viele Vulkane verstreut. Von diesen werden bereits viele als „schlafend“ oder „erloschen“ bezeichnet, da ihr letzter Ausbruch viele Jahre zurückliegt. Ein Beispiel dafür ist der Vulkan Santa María in Guatemala. Ein aktiver Vulkan ist hingegen der aus dem Santa María entstandene Vulkan Santiaguito, der aufgrund seines kupelartigen Aufbaus seiner vier Dome und seiner regelmäßigen Aktivität interessant für Forscher ist. Diese bietet eine Möglichkeit, Gasausbrüche zu analysieren, wobei die abgegebenen Signale von Seismometern aufgezeichnet werden.

In diesem Projekt wird ein gemessenes Signal mit Hilfe der Methode der Kreuzkorrelation mit anderen registrierten Signalen verglichen. Dabei festgestellte Regelmäßigkeiten werden dann in einem Katalog dargestellt und werden statistisch untersucht. Anhand dieser Statistiken kann man Regelmäßigkeiten erkennen, aufgrund denen man womöglich Gasausbrüche vorhersagen kann.

2. Der Vulkan

2.1 Allgemeines zu Vulkanen

Vulkanausbrüche gehören zu den faszinierendsten Naturkatastrophen, da sie nicht nur interessant anzusehen, sondern auch kaum voraussagbar sind. Es gibt die Möglichkeit Vulkanausbrüche mithilfe von Erdbeben zu vermuten, jedoch sind diese Vorhersagen jedoch nicht immer richtig.

<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQpx8WOUige9xVsTnLWVdVPt8xX6U4MjQLIN7Toe8uwrWXZPOpV>

Abb.1: Mögliche Szenarien für die Entstehung von Vulkanen:
Divergenz, zwei Arten von Konvergenz und Konservierung (v.l.n.r.)

Vulkane entstehen meist an den Rändern der ozeanischen und kontinentalen Platten. Dabei entfernen sich zwei Platten voneinander, eine Platte subduziert unter eine andere, sie nähern sich einander an oder driften aneinander vorbei. Wenn sich die Platten voneinander entfernen, wird die entstehende Lücke durch vulkanisches Material aufgefüllt. Dies geschieht beispielsweise an der Grenze zwischen der afrikanischen und südamerikanischen Platte. Bei der Subduktion werden Gesteine im Erdinnern geschmolzen und treten an die Oberfläche. Ein Beispiel für die Subduktion sind die auf sich zueinander bewegenden Nazca-Platte und die südamerikanische Platte.

In Hot Spots befinden sich Vulkane nicht an den Plattengrenzen. An diesen Stellen ist die Erdkruste schwächer und heißes Material steigt auf. Hot Spots bleiben immer an der gleichen Stelle, während sich die Platten über sie hinweg bewegen. Dies kann zur Entstehung von Inselgruppen wie den Kanarischen Inseln führen.

Wenn in einer Kammer unter dem Vulkan Gase einen hohen Druck erzeugen, bahnt sich die in der Kammer befindende Magma einen Weg durch den sogenannten Schlot. Durch diese Verbindung mit der Erdoberfläche tritt die Magma nach außen. Je nach Zusammensetzung der Gase und der Magma ist der Ausbruch unterschiedlich stark. So können Gesteine und Magma kilometerweit in die Luft gesprengt werden oder die Magma fließt in Strömen den Vulkanhang hinab. Außerdem kann Asche ausgestoßen werden, die eine große Gefahr für umliegende Städte darstellen kann, wie der berühmte Ausbruch des Vesuvs über der Stadt Pompeji im Jahre 79 zeigt.

Vulkane werden in mehrere Gruppen eingeteilt: Stratovulkane, Schildvulkane und Domvulkane. Stratovulkane sind Vulkane, bei denen durch verschiedene Phasen Schichten aus Lava und Tephra gebildet werden. Diese wechseln sich auf der Oberfläche des Vulkans ab, wie es beispielsweise am Vulkan Ngauruhoe in Neuseeland der Fall ist. Schildvulkane sind eher flach, dies entsteht durch am Vulkan hinunterfließende stark viskose Lava. Ein Beispiel für diese Vulkanart ist der Vulkan Mauna Kea in Hawaii. Domvulkane werden im folgenden Kapitel genauer erklärt.

2.2 Santiaguito

Der Vulkan Santiaguito ist ein Domvulkan in Guatemala nahe der Stadt Quetzaltenango. Er entstand aus dem Vulkan Santa María, dessen letzter großer Ausbruch im Jahr 1902 stattfand. Dieser Vulkan trennt den Santiaguito und schützt sie vor möglichen Ausbrüchen. Nach einem starken Ausbruch des Vulkans Santa María 1902 bildeten sich 1922 die vier Dome des Santiaguito, die die Namen „El Brujo“ („Der Magier“), „El Monje“ („Der Mönch“), „La Mitad“ („Die Mitte“) und „El Caliente“ („Der Heiße“), geordnet von Westen nach Osten, tragen. El Caliente ist aktuell der einzige aktive Dom. Die Aktivität des Vulkans zeigt sich durch das mehrmals tägliche Auftreten von Gasausbrüchen damit verbundenen kleineren Beben. Dome oder Lavadome sind Kuppeln aus Lava über dem Förderschlot des Vulkans. Manchmal bildet ein Lavadome den gesamten Vulkan, wie es beim Santiaguito der Fall ist. Dies macht den Santiaguito zum bekanntesten Domvulkan weltweit.

In Abb. 2 sind die einzelnen Lavadome zu sehen, im Vordergrund El Caliente bei einem Gasausbruch und rechts von ihm der erloschene Vulkan Santa María.



Abb.2: der Vulkan Santiaguito mit den Domen El Brujo, El Monje, La Mitad und El Caliente (v.l.n.r.)

2.3 Hypothese

Es kommt immer zu größeren Vulkanausbrüchen, wenn sich über Zeit genug Druck ansammelt, um auf einmal viel Material zu fördern. Da der Santiaguito noch nie einen größeren Ausbruch hatte und auch nicht viel Material ausstößt, könnte man vermuten, dass der Druck und damit auch die Aktivität des Vulkanes langsam ansteigt. Dies gilt es zu versuchen in unserem Projekt zu verifizieren oder zu widerlegen.

3. Messwerte und Messstationen

Zu Beginn des Projekts befanden sich am Vulkan vier seismische Messstationen des KIT, von denen die in diesem Projekt verwendeten Werte stammen. In Abb. 3 sind die Standorte der Messstationen und die genaue Position des Domes El Caliente (roter Punkt) gekennzeichnet.

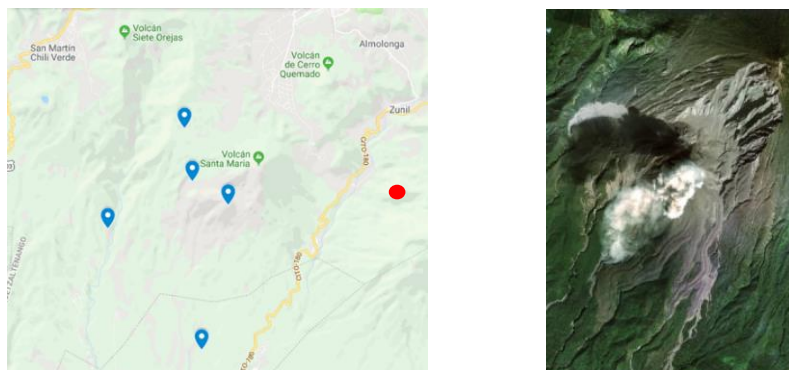


Abb.3: Die Lage der Messstationen sowie des Vulkanes und ein Satellitenbild des Vulkanes (Quelle: Google Maps)

Seit Januar 2019 befinden sich mehr Messstationen sowie eine Wärmebildkamera in der Nähe der Station STG5, genutzt wurden nur die Signale der ersten vier Stationen. Die Wärmebildkamera zeichnet Gasaustritte des Vulkanes zur Überprüfung der Signalfindung auf (Abb. 4).

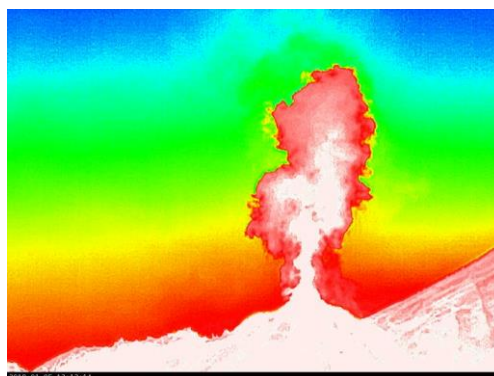


Abb.4: Bild der Wärmebildkamera

Die aufgezeichneten Signale der Messstationen können nun am Computer dargestellt werden. Dies ist in Abb.5 zu sehen. Auf der x-Achse wird die Zeit in Sekunden und auf der y-Achse die Geschwindigkeit der Bodenschwingung in mm/s dargestellt. In diesem Fall ist zu sehen, dass das Beben des Bodens sehr plötzlich eingetreten ist, da der Anstieg der Bodengeschwindigkeit sehr rasant geschieht.

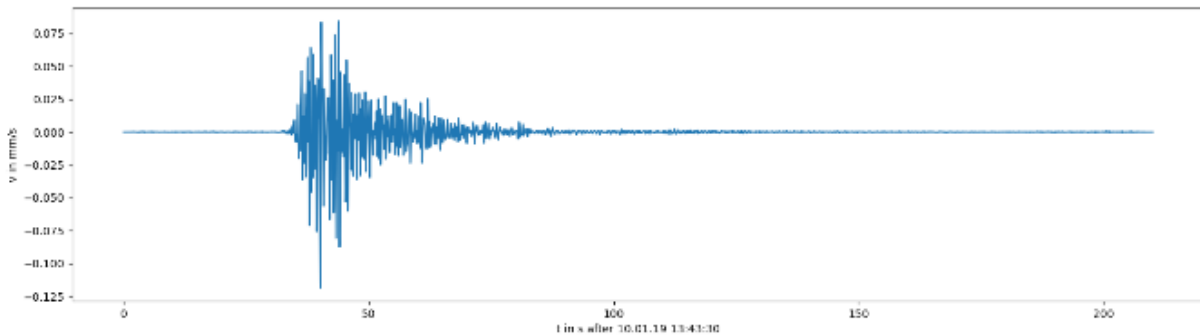


Abb.5: Darstellung eines Signals

4. Auswertung der Messwerte

4.1 Kreuzkorrelation

Das Ziel dieses Projektes ist es eine Statistik über die seismische Aktivität am Vulkan Santiaguito zu erstellen. Dazu wird eine Methode benötigt, durch die alle seismisch erkennbaren Ereignisse ermittelt werden können. Zur Automatisierung und Optimierung dieser Aufgabe ist die mathematische Methode der Kreuzkorrelation zu empfehlen, da man mit dieser relativ simpel die Ähnlichkeit von seismischen Signalen ermitteln und man nur Mustersignale zu vergleichen braucht. : Man verschiebt eine Funktion $a(t+\tau)$ zeitlich um die Phasenverschiebung τ , multipliziert sie mit der Funktion $b(t)$ und integriert das Ergebnis. (nach TU Freiberg, 2019)

$$K(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} a(t + \tau) \cdot b(t) dt$$

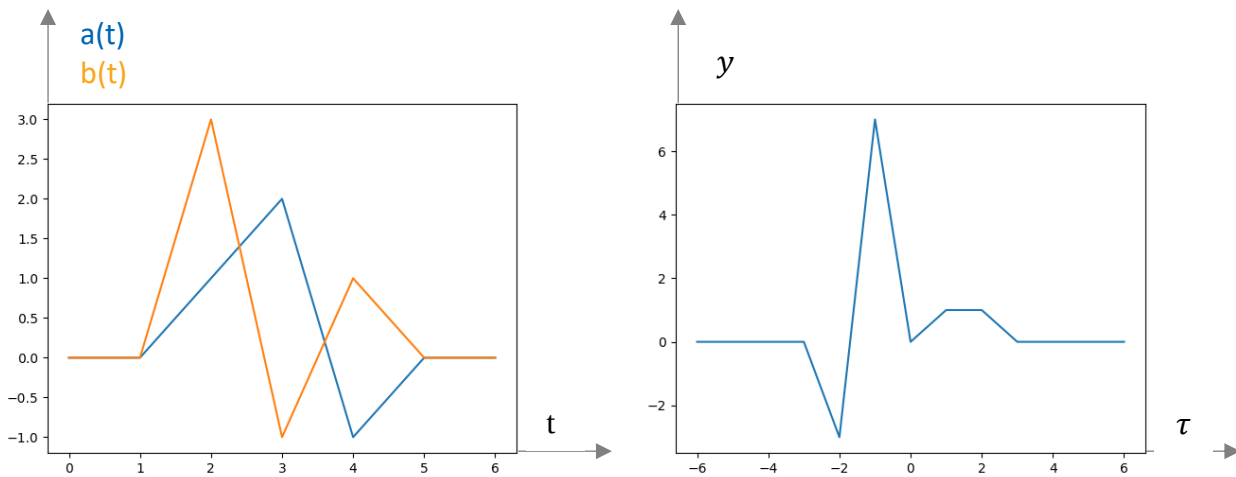


Abb. 6: Zwei Wertereihen $a(t)$ und $b(t)$ und deren Korrelationsfunktion mit matplotlib dargestellt

Das bedeutet in dem Beispiel anschaulich, dass man den Graphen von $a(t)$ um τ verschiebt. Dann multipliziert man an allen Stellen für dieses τ die Werte von $a(t)$ und $b(t)$. Wenn die Phasenverschiebung so ist, dass globale Maxima oder Minima von $a(t)$ und $b(t)$ an derselben Stelle sind, ergeben sich für $K(\tau)$ die höchsten Werte. Einer dieser Werte ist in dem zugehörigen Graphen hier bei $\tau \approx -0,75$ als Hochpunkt zu erkennen. Bei z.B. $\tau \approx -2$, werden $a(t)$ und $b(t)$ so verschoben, dass sich absolute Maxima und Minima miteinander multiplizieren und dabei sich auch ein negativer Wert für $K(\tau)$ ergibt, da das absolute Minimum von $a(t)$ hier negativ ist. Die Ähnlichkeit ist bei diesem Beispiel am höchsten für eine Verschiebung um $\tau \approx -0,75$ und am niedrigsten für $\tau \approx -2$. Was man beachten muss, ist, dass mit Seismometern nur Messpunkte aufgenommen werden. Damit hat man eine diskrete und keine durchgehende Funktion, weshalb in der Seismologie statt eines vollständigen Integrals die Flächen zwischen den Funktionswerten der Funktion

$$k(\tau) = a(t + \tau) \cdot b(t)$$

und der x-Achse ausgerechnet wird. Dadurch hat man anstatt des Integrals eine Aufsummierung von Flächen als diskrete Funktion.

4.2 Programmierung mit Python

4.2.1 Anforderungen an ein Programm zur Kreuzkorrelation

Es wird ein Programm zur Identifizierung ähnlicher seismische Signale mithilfe der Kreuzkorrelation benötigt. Dies soll in der Lage sein die seismischen Daten einzulesen, damit man mit ihnen arbeiten kann. Die eingelesenen Daten sollen mit einem Mustersignal verglichen werden, um auszugeben, wann die Korrelation so hoch ist, dass man in den Daten auf einen Gasaustritt schließen kann. Als letztes soll von allen vermuteten Gasaustritten eine Liste erstellt werden.

4.2.2 Kreuzkorrelationsprogramm

Da es kostenlos zur Verfügung steht und am Geophysikalischen Institut schon benutzt wurde, werden die Programmiersprache Python und das Interface Spyder verwendet. Bei Python sind die Bibliotheken numpy und matplotlib schon vorinstalliert, mit welchen man in dem Programm komplexere Rechnungen durchführen kann und Ergebnisse graphisch darstellen kann. Es gibt schon ein Programmpaket für seismologische Forschung gab. Dieses heißt Obspy und mithilfe dieses Paketes ist man in der Lage seismische Daten einzulesen. Als erstes werden die seismischen Daten eingelesen. Dies werden dann in gleichlange Abschnitte wie das Mustersignal geschnitten und mit diesem korreliert. Ein Korrelationswert wird gewählt, ab welchem man annehmen kann, dass das gefundene Signal wie das Mustersignal ein Gasaustritt ist. Diesen kann man durch graphische Darstellung der Korrelationswerte und Untersuchung der Peaks mithilfe der Wärmekamerabilder ermitteln. Ein Normierungsfiler kann auch hinzugefügt werden, um zu verhindern, dass zufällig Signale mit hohen Amplituden als Gasaustritte identifiziert werden. Wenn dann nun eine normierte Zeitreihe den Schwellwert überschritten hat, wird der Zeitpunkt in eine Liste geschrieben und das Programm läuft weiter.

4.2.3 Katalogprogrammierung

Die vom Kreuzkorrelationsprogramm gefundenen Signale sollen nun in Schaubildern dargestellt werden um einen Katalog erstellen zu können, der dann für Statistiken genutzt werden kann. Dafür wurde wieder ein Programm geschrieben, das wie folgt aussieht:

```
9 import datetime
10 from datetime import timedelta
11 import obspy
12 from obspy import UTCDateTime
13 import matplotlib.pyplot as plt
14 import numpy as np
15
16 datum=UTCDateTime(datetime.datetime.strptime("2019-01-08","%Y-%m-%d"))
17 F = open ("{}_{}/{}_{}.txt".format(datum.strftime("%B"),datum.day , datum.month,datum.day , datum.month) , "r")
18 #Datei eines bestimmten Datums öffnen
19 data = F.readlines()
20 R = obspy.read("Seismische_Daten\GI.STG8..HH?.D.2019.008") #r=stream, hat ost, nord und z-Komponente R[0,1,2], Datei Lesen
21 print(R)
22 inv = obspy.read_inventory("/Users/Lena/Documents/PythonScripts/Dataless.STG_JAN2019.xml")
23 pre_filt = [0.001, 0.05, 30, 35]
24 A=0
25
26 for line in data: #durch die Schleife werden die Befehle für jedes Signal wiederholt
27     fig=plt.figure()
28     ax=[None]*3 #3 Koordinatensysteme einfügen
29
30     print (line) #Zeile anzeigen
31     new_line=line.split(",")
32     print (new_line)
33     tag=UTCDateTime(datetime.datetime.strptime(new_line[0],"%Y-%m-%dT%H:%M:%S.%fz"))
34     #Datum/Zeit richtig anzeigen
35     R2=R.copy()
36     R2.trim(tag+timedelta(minutes=0.5),tag+timedelta(minutes=1.5)) #Zeit anpassen
37     R2.remove_response(inventory=inv, pre_filt=pre_filt, output="DISP", water_level=60, plot=False)
38     fig.suptitle(R2[0].stats.starttime.strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S"))
39     #Titel für jedes Schaubild an das jeweilige Datum angepasst
40     Zeit=np.arange(0, len(R2[0].data)/10/10, 1/10/10)
41     R2[0].data = R2[0].data * 1000
42     R2[1].data = R2[1].data * 1000
43     R2[2].data = R2[2].data * 1000
44     #Skalierung anpassen
45     print(R2[0])
46     ax[0]=fig.add_subplot(3, 1, 1)
47     ax[0].set_ylabel("Auslenkung in mm") #Achsenbeschriftung der y-Achse des 1. Systems
48     ax[0].plot(Zeit, R2[0].data)
49     max_value=max(R2[0].data)
50     ax[0].text(1, max_value*0.8, "{} {}".format(R2[0].stats.station, R2[0].stats.channel))
51     ax[1]=fig.add_subplot(3, 1, 2)
52     ax[1].set_ylabel("Auslenkung in mm") #Achsenbeschriftung der y-Achse des 2. Systems
53     ax[1].plot(Zeit, R2[1].data)
54     max_value=max(R2[1].data)
55     ax[1].text(1, max_value*0.8, "{} {}".format(R2[1].stats.station, R2[1].stats.channel))
56     ax[2]=fig.add_subplot(3, 1, 3)
57     ax[2].set_xlabel("Zeit in sec") #Achsenbeschriftung der x-Achse
58     ax[2].set_ylabel("Auslenkung in mm") #Achsenbeschriftung der y-Achse des 3. Systems
59     ax[2].plot(Zeit, R2[2].data)
60     max_value=max(R2[2].data)
61     ax[2].text(1, max_value*0.8, "{} {}".format(R2[2].stats.station, R2[2].stats.channel))
62     plt.show() #Schaubild anzeigen
63     fig.savefig("{}_{}/{}_{}.png".format(datum.strftime("%B"),datum.day , datum.month,tag.strftime("%Y%m%d_%H%M%S.png")))
64     #Schaubild speichern
65
```

Abb.7: Das Programm in Python zur Darstellung der Signale

In Zeile 17 (s. Abb.7) wird zunächst die Datei mit den Daten eines bestimmten Monats geöffnet und darauffolgend gelesen. Dann beginnt in Zeile 26 die sogenannte for-Schleife, in der alle Befehle bis zum Ende der Datei wiederholt werden. Der erste Schritt in dieser Schleife ist das Einfügen von drei Koordinatensystemen in eine Abbildung, die sich im Laufe der Schleife bildet und am Ende angezeigt wird. In diesen drei Koordinatensystemen werden die gefundenen Signale dargestellt. Dabei stellt das erste Diagramm die Ost-West-Bewegung (HHE), das zweite die Nord-Süd-Bewegung (HHN) und das dritte Diagramm die Bewegung von oben nach unten (HHZ) dar. Danach werden die Zeitpunkte der gefundenen Signale als Zeilen im gewünschten Format angezeigt. Daraufhin werden zunächst die Zeitabschnitte und dann der Titel für das jeweilige Schaubild angepasst. Die Schaubilder mit den Koordinatensystemen erhalten nun immer den Zeitpunkt des angezeigten Signals als Titel. Der nächste Schritt ist nun die Skalierung sowie die Beschriftung der Koordinatenachsen, wobei in allen drei Systemen die x-Achse mit „Zeit in sec“ und die y-Achse mit „Auslenkung in mm“ beschriftet werden. Letztendlich wird das Schaubild angezeigt und gespeichert und der Vorgang wiederholt sich für jedes Signal. Nachdem all diese Signale gefunden wurden, kann man diese in einem Katalog zusammenfassen und statistisch untersuchen. Zudem wurden zur Signalüberprüfung Bilder der Wärmebildkamera zum Vergleich herangezogen.

2019-01-08 08:22:58

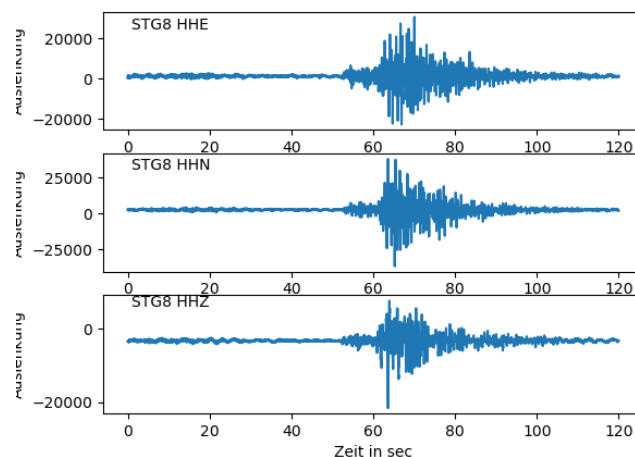


Abb.8: Beispiel eines dargestellten Signals

Abb.8 zeigt ein Beispiel für ein dargestelltes Signal, ein Ausschnitt des Katalogs zum 08. Januar 2019 ist im Anhang zu sehen.

5. Ergebnisse

5.1. Häufigkeit der Gasaustritten

Zwischen 17.1.2018 und 10.4.2018 gab es den Listen nach, welche das Ergebnis des Kreuzkorrelationsprogramms waren, 1455 Gasaustritte und im Bereich vom 1.1.2019 bis zum 10.4.2019 gab es 1868 Gasaustritte. Das entspricht im ersten Quartal von 2018 einer Gasaustrittshäufigkeit von ungefähr 17,32 Gasaustritten pro Tag. Im ersten Quartal des Jahres 2019 hingegen sind es schon 18,68 Gasaustritte pro Tag. Dies entspricht einem Häufigkeitsanstieg der Gasaustritte um ca. 7,85% in einem Jahr. Trotzdem ist dieser Trend immer noch mit Wahrscheinlichkeiten zu verknüpfen, da es Tage gab, an denen es über 30 Gasaustritte, aber manche auch mit weniger als 10 Gasaustritten gab. Wie man außerdem in

der Graphik zur Entwicklung der Häufigkeit erkennen kann, finden diese Schwankungen auch über Monate hinweg statt. Als Beispiel kann man den Zeitraum vom 20.2.2019 bis 1.03.2019 und jenen vom 2.3.2019 bis zum 11.3.2019 verwenden. Im ersten Zehntageszeitraum gab es 168 Gasaustritte, während es im zweiten Zehntagesabschnitt 216 Gasaustritte gab, was einem relativ abruptem Häufigkeitsanstieg von 28,6% entspricht. Dies lässt Zweifel an der Stetigkeit der Häufigkeitsentwicklung. Man kann die Hypothese, dass die Häufigkeit der seismischen Signale, zumindest der Gasaustritte, mit gewisser Vorsicht als bestätigt ansehen, auch wenn die Magnitude des beobachtenden Anstiegs klein ist.

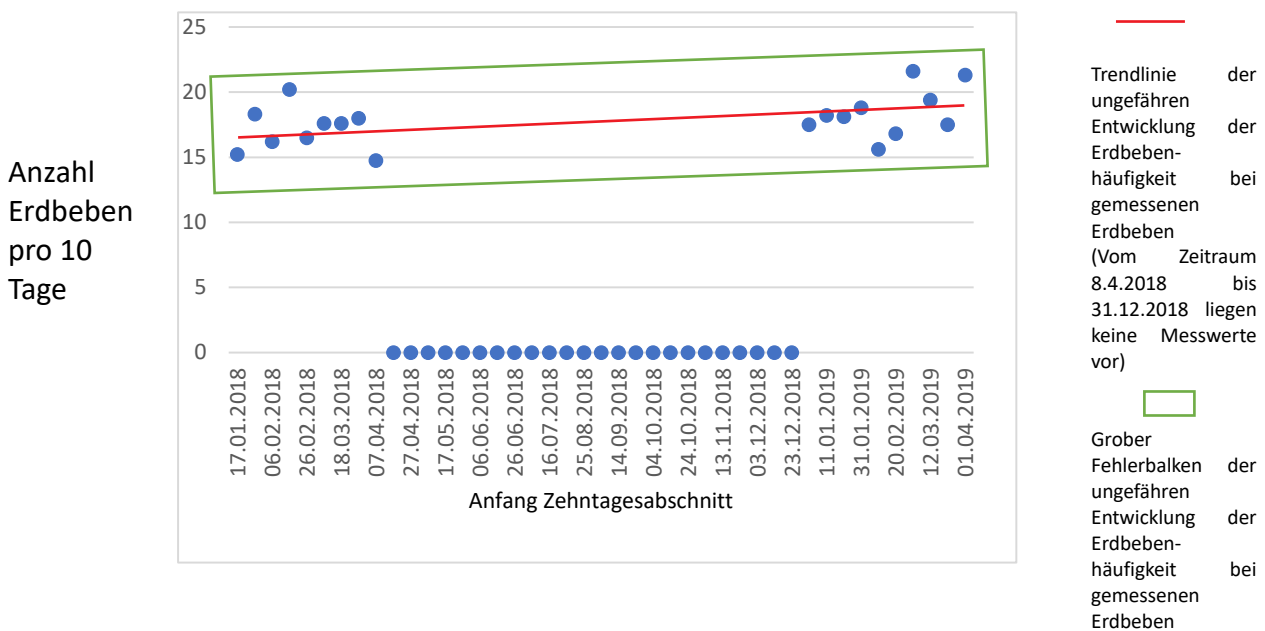


Abb. 9: Entwicklung der Gasaustrittshäufigkeit zwischen Januar 2018 und April 2019

5.2. Geschwindigkeitsmaxima der Gasaustritten

Das Programm, welches die Maximalgeschwindigkeiten auflisten sollte, gab Ergebnisse für den Zeitraum vom 1.1.2019 bis zum 2.3.2019 aus. Die meisten der 1080 mit Maximalgeschwindigkeiten aufgelisteten Erdbeben hatten ähnliche Maximalgeschwindigkeiten, wobei ca. 20 von ihnen 50 mal stärker waren als die Schwächsten und das stärkste Erdbeben am 1.2.2019 mit 10,785 mm/s sogar 1000-mal höhere Geschwindigkeiten aufwies als die Schwächsten. Wenn man sich die Entwicklung der Amplitude (Abb. 10) erkennt man aufgrund der wenigen stärkeren Gasaustritte nahezu keinen Trend. Man kann aufgrund unserer Ergebnisse keine klaren Prognosen über die Entwicklung der Stärke der Gasaustritte in den kommenden Monaten und Jahre machen. Mit der Beobachtung eines längeren Zeitraums könnte man eventuell doch einen Trend erkennen.

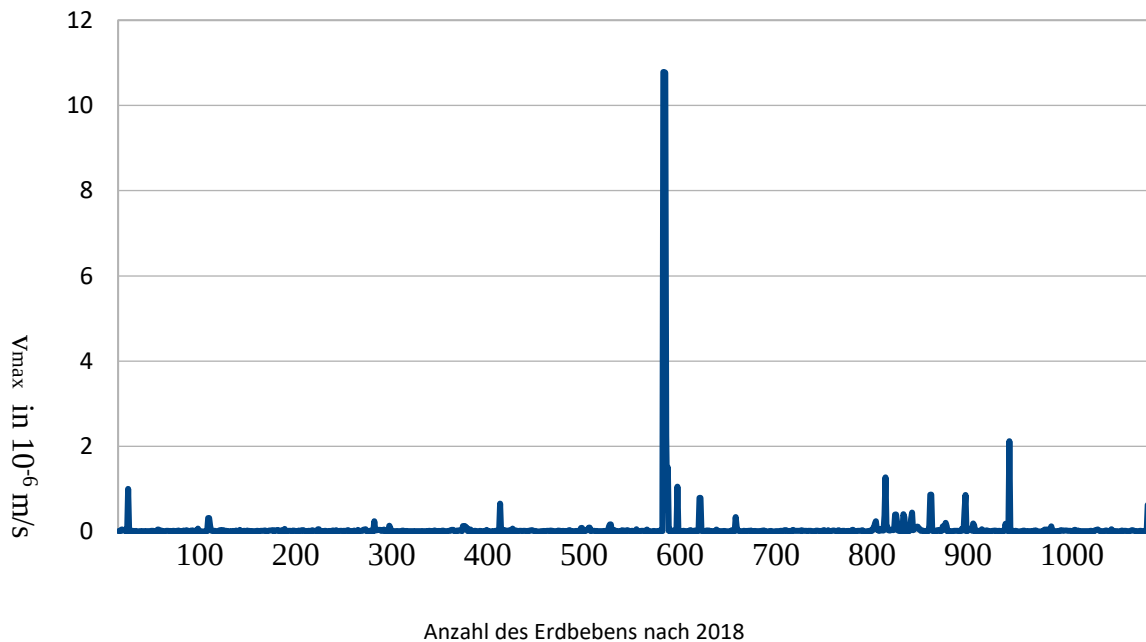


Abb. 10: Entwicklung der Maximalauslenkungsgeschwindigkeiten der Gasaustritte zwischen Januar 2018 und April 2019

6. Diskussion

6.1 Fehlerdiskussion

Es gab nur Listen der Maximalauslenkungsgeschwindigkeiten vom 1.1.2019 bis zum 2.3.2019. Außerdem gab es das Problem, dass manche Gasaustritte mehrere Minuten lang waren und unser Programm diese in die Liste als mehrere Gasaustritte eintrug. Dem war es möglich teilweise entgegensteuern, indem festgelegt wurde, dass mindestens zwei Minuten zwischen verschiedenen Gasaustritten liegen mussten. Trotzdem kam es immer noch dazu, dass längere Gasaustritte mehrmals in die Liste eingetragen wurden, aber wir wussten nicht, ob es Gasaustritte gab, die nah hintereinander lagen. Deshalb blieb dieser Parameter bei zwei Minuten. Ein anderer Parameter, welcher Schwierigkeiten bereitete, war das Ergebnis der Kreuzkorrelation. Aus einem Graphen aller Werte der Korrelation für einen Tag wurde versucht grob zu ermitteln, ab welchem Korrelationswert es sich um eine Aufzeichnung eines Gasaustrittes handelte. Leider konnte nur ein Wert dessen Genauigkeit wir auf ca. 2σ genau bemessen konnten, gefunden werden, da die Werte der Korrelation bei verschiedenen Gasaustritten sehr unterschiedlich waren. Mit einer erhöhten Anzahl von Daten über Häufigkeits- und Amplitudenentwicklung wäre die Signifikanz einer Aussage höher, da es bei der Häufigkeit als auch bei der Stärke der Gasaustritte Anzeichen für einen leichten Trend gibt, diese aber aufgrund der eher wenigen Daten und leichten Trends auch nur aufgrund von Zufall und Ungenauigkeit der Aufzeichnungsmethode resultieren könnten.

6.2 Fazit

Nach den gemessenen Daten liegt die Häufigkeit der Gasaustritte bei ca. 18 pro Tag, welche aber nicht stetig ist. Es ist ein Trend von 7,85% mehr Erdbeben pro Tag nach einem Jahr festzustellen gewesen. Die Magnitude der Gasaustritte hingegen ist schwer zu analysieren, da Maximalauslenkungsgeschwindigkeiten zwischen Werten von 10^{-10} m/s und 10^{-5} m/s schwanken, wobei über 90% der Gasaustritte niedrige Maximalauslenkungsgeschwindigkeiten unter 10^{-9} m/s aufweisen, was von der Größenordnung her der Bewegung an einem größerem Zuckermolekül vorbei in der Sekunde entspricht und damit relativ schwach ist. Auch hierbei kann man nur an der Graphik einen Aufwärtstrend bei den stärkeren Gasaustritten erkennen. Die größten Probleme waren höchstwahrscheinlich unzureichende Mengen an Daten, technische Probleme und Unsicherheit bei Parametern im Programm zur Unterscheidung verschiedener Gasaustritte. Mit mehr Zeit wäre es möglich gewesen die Parameter genauer zu bestimmen, mehr Daten zu erhalten und an den Programmen zu feilen, weshalb ein Teil unseres Fazits ist, dass man aus diesem Projekt eine Struktur und Grundbausteine wie die geschriebenen Programme mitnehmen kann, man aber für signifikantere Aussagen, die über leichte Trends hinausgehen mehr Zeit braucht.

6.3 Ausblick

Die Ergebnisse dieser Arbeit führten zu den folgenden weiteren Fragestellungen:

- In diesem Projekt wurden nur Signale im Zeitraum von einigen Monaten betrachtet. Wie würde jedoch das Ergebnis aussehen, wenn man die Signale von mehreren Jahren miteinbezieht? Würde es ähnlich aussehen oder deutliche Unterschiede aufweisen?
- Wie sahen die Signale in der Vergangenheit aus? Sahen die Signale vor einigen Jahren genauso aus und hatten sie dieselbe Regelmäßigkeit? Könnte man sogar anhand von Statistiken vergangener Signale und Vulkanausbrüchen einen weiteren Zeitpunkt für einen Ausbruch vermuten?

Danksagung

Es ist immer wieder schön große Projekte wie dieses über die Analyse seismischer Daten eines Vulkanes durchzuführen. Egal ob Konzepte entwickeln, Programmieren, Theorien überprüfen, Daten auswerten und Prognosen aufstellen, alles ist in seiner Art interessant und lehrreich. Wir hatten viel Spaß an dem Projekt, aber wir waren immer wieder dankbar für die Motivation, die Unterstützung und die Motivation, welche das Projekt vorangetrieben haben.

Als erstes wollen wir Alicia Rohnacher danken. Sie hat uns immer wieder mit ihren Fähigkeiten unterstützt, sei es Theorieunterricht, sei es Programmieren, seien es Lösungsansätze oder Mails mit neuen Informationen zum Vulkan. Ohne sie hätte es sehr lange gedauert, bis wir bei dem Projekt bei guten Ansätzen und Programmideen angelangt wären. Auch wäre das Projekt und die Arbeit an der Abschlussdokumentation und allem dazugehörendem viel langsamer und mit weniger Qualität vonstattengegangen, hätten wir unsere Betreuer des Hector Seminars in der Kooperationsphase und im Projekt nicht gehabt. Dietmar Gruber hat uns als Projektbetreuer immer wieder wichtige Fragen gestellt, die uns geholfen haben, dort wo es zählt, weiterzuarbeiten und manchmal auch Dinge zu überarbeiten. Anke Richert als Betreuerin der Kooperationsphase erinnerte uns auch immer wieder an wichtige Termine, was eine gewisse Ordnung in unser Projekt brachte. Auch wenn die Arbeit hart und der Druck aufgrund hoher Termindichte manchmal groß war, konnten wir in diesem Projekt viel über Programmieren, Seismologie, Schreiben, Physik und Mathe lernen, was uns immer wieder fasziniert. Schlussendlich gilt unser Dank auch an Herrn und Frau Hector. Ohne sie gäbe es das Hector Seminar nicht und wir hätten dort keine so bildende, interessante, lehrreiche und produktive Zeit gehabt. Wir sind sehr dankbar für die Zeit, die wir mit diesem Projekt, aber auch generell im Hector-Seminar verbringen konnten und hoffen, dass auch viele weitere Schüler so wie wir davon profitieren können.

Quellen

Literatur zur Kreuzkorrelation:

<https://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/institut-fuer-mechanik-undfluidodynamik15832/Lehre/lehveranstaltungen/fluid/MT/kreuzkorrelation.pdf>
(16.08.2019 20:30)

Vulkane allgemein:

<https://www.planet-wissen.de/natur/naturgewalten/vulkane/index.html> von Tobias Aufm-kolk (01.08.19 20:48)

<http://www.vulkane.net/vulkane/pompeji/pompeji.html> von Marc Szeglat 2003. Letzte Aktualisierung November 2018 (01.08.19 20:46 Uhr)

<https://www.eskp.de/grundlagen/naturgefahren/vulkantypen/> von Christina Bonanati, GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (01.08.19 20:46 Uhr)

https://www2.klett.de/sixcms/media.php/229/104060_KV_04_01_L.pdf (11.09.2019 15:20 Uhr)

Santiaguito:

<http://www.insivumeh.gob.gt/> (27.08.2019 18:00)

volcán Santiaguito

Abbildungsverzeichnis:

Abb1.: Bewegungsrichtungen der Platten (<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQpx8WOUige9xVsT-nLWVdVPt8xX6U4MjQLIN7Toe8uwrWXZPOpV>) (23.08.2019 22:45))

Abb.2: der Vulkan Santiaguito (Alicia Rohnacher)

Abb.3: Die Lage der Messstationen sowie des Vulkans (Google Maps)

Abb.4: Bild der Wärmekamera (KIT)

Abb.5: Darstellung des Signals mit und ohne gefiltertem Frequenzspektrum (KIT)

Abb.6: Zwei diskrete Funktionen und deren Korrelationsfunktion (dargestellt mit Python)

Abb.7: Das Programm in Python zur Darstellung der Signale (dargestellt mit Python)

Abb.8: Beispiel eines dargestellten Signals (dargestellt mit Python)

Abb.9: Entwicklung der Gasaustrittshäufigkeit zwischen Januar 2018 und April 2019

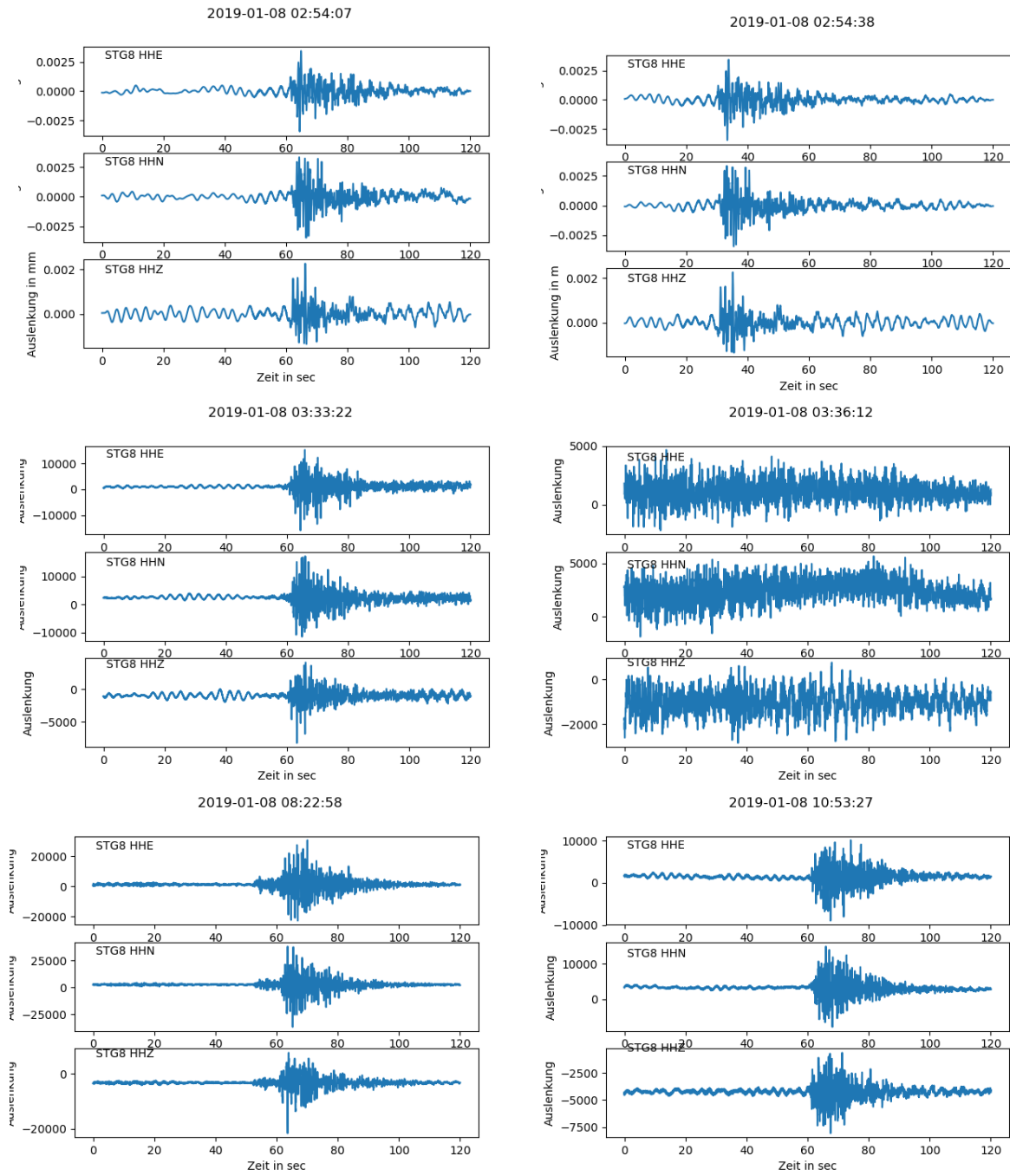
(dargestellt mit Open Office)

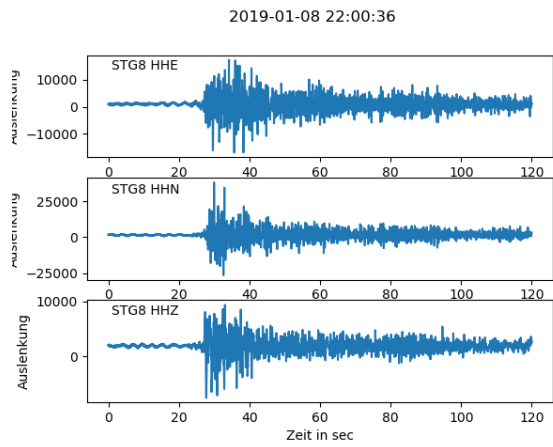
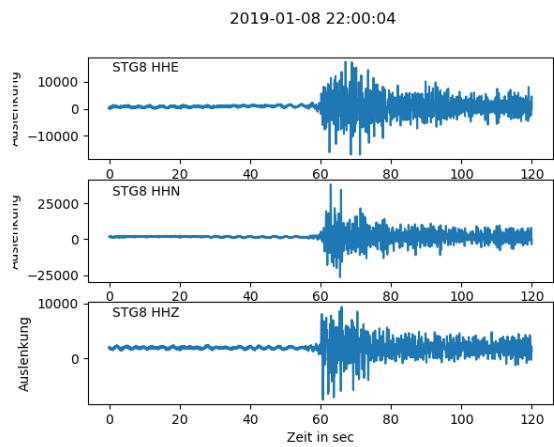
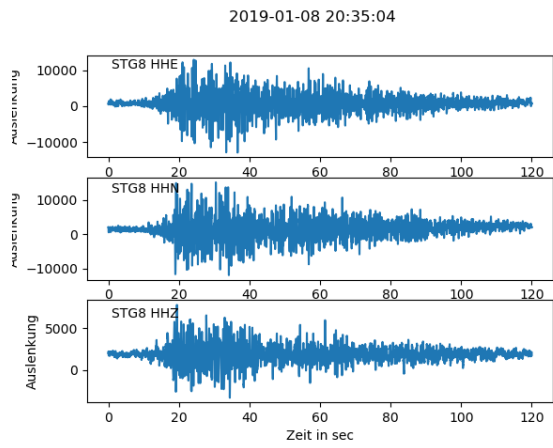
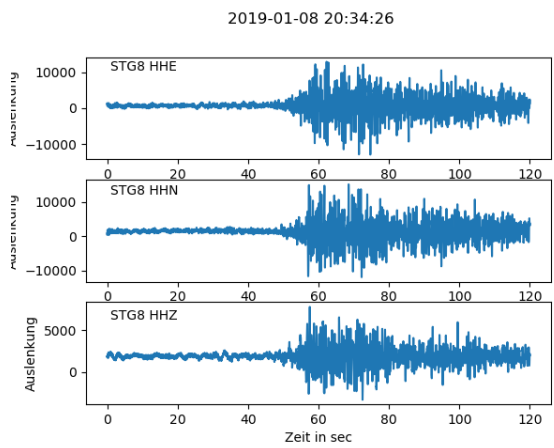
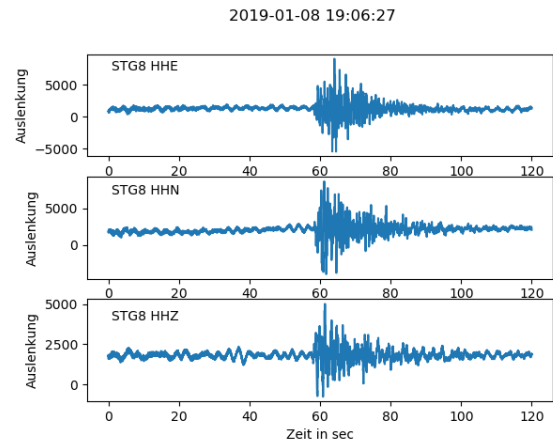
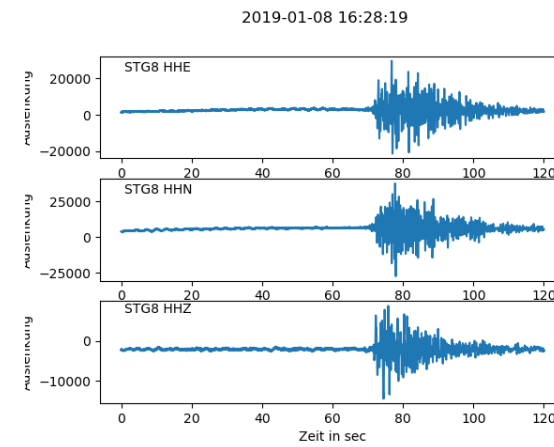
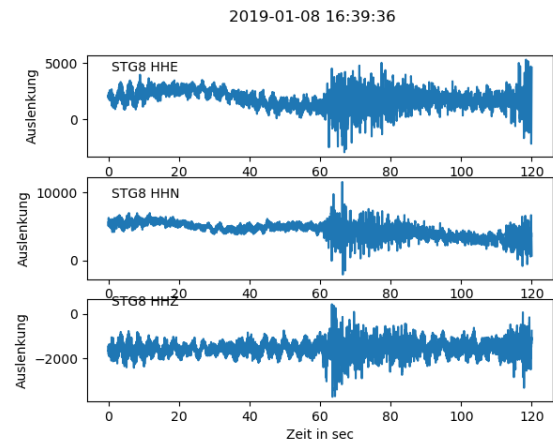
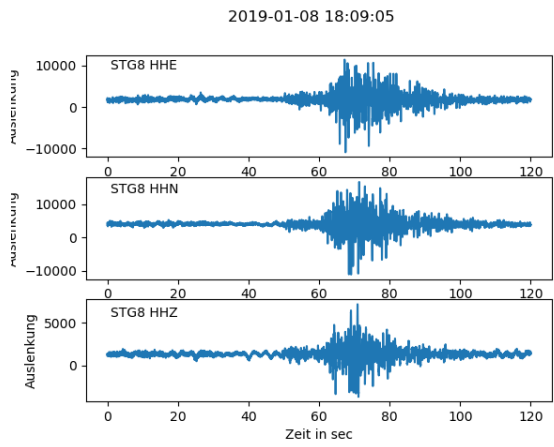
Abb.10: Entwicklung der maximalen Bodengeschwindigkeiten bei Gasaustritten nach 2018

(Open Office)

Anhang

Ausschnitt des Katalogs mit den dargestellten Signalen des 08.01.2019





Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichern wir, dass wir diese Arbeit unter der Beratung durch Alicia Rohnacher selbstständig verfasst haben und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt haben.

Karlsruhe, den 27.9.2019

Karlsruhe, den 27.9.2019
