

Seismologie und MT am Vulkan Merapi, Indonesia

S. Byrdina und O. Ritter
GeoForschungszentrum Potsdam

Einleitung

Magmadynamische Prozesse im Inneren eines Vulkans können an der Oberfläche als seismische Signale registriert werden. Die bekannteste Signalform ist der vulkanische Tremor, dessen harmonische Anteile im Spektrum auf Instabilitäten des Magmaflusses hinweisen. Um diese Instabilitäten zu erklären, wird von Chouet [1] und Schick [2] ein Zweiphasenflußmodell vorgeschlagen. Das Vorhandensein einer freien Gasphase erhöht die Kompressibilität des Magmas, was die Entstehung von extrem starken Druckgradienten ermöglicht. Der Zweiphasenfluß in einem porösen Medium aber erzeugt zeitvariable elektrische Strömungspotentiale [3], die von den Druckgradienten abhängen. Unsere Idee war daher, an gleichzeitig registrierten seismischen und magnetotellurischen Zeitreihen, vom Tremor erzeugte Änderungen des elektrischen Feldes festzustellen.

Die Messung

Die Messungen wurden im Juni - Juli 1997 am Vulkan Merapi in Zentral-Java durchgeführt. Am Vulkanhang zwischen Babadan und Klatakan (Höhen 1300 m bis 2000 m über dem Meeresspiegel) wurde ein AMT-Profil vermessen, an der Referenzstation (ca. 1500 m über NN) befand sich ein Seismometer.

Seismische Aktivität am Vulkan Merapi im Sommer 1997

Abbildung 1 zeigt das gesamte Spektrum der am Vulkan Merapi bekannten seismischen Ereignisse. Die Monate Juni und Juli 1997 erwiesen sich als ausgesprochen ruhige Zeiten des Vulkans. Ausreichend für eine statistische Untersuchung sind nur sogenannte MP-events und Guguran aufgetreten (s. Bildunterschrift zur Abb. 1). Im Gegensatz zu einem Tremor kann man aber bei einem Steinfall vom Lavadom keine Änderungen der elektromagnetischen Felder erwarten.

Die Ursache von MP-events ist umstritten, es wird vermutet, daß sie mit der Entgasung des Magmas sehr flach unter der Oberfläche (flacher als 500 m) und sprödem Bruch im Magma verbunden sind (persönliche Mitteilung Wassermann). Die Entgasung des Magmas könnte eventuell kurzzeitige Strömungspotentiale verursachen.

Datenanalyse

Abb. 2 und 3 zeigen die Zeitreihen im Frequenzband 4-16 Hz von zwei gleichzeitig betriebenen Stationen. Station 20 ist die Referenzstation mit dem Seismometer. Station 30 war 500 m hangaufwärts aufgebaut. Auf beiden Bildern sind die oberen zwei Spuren seismische Zeitreihen von der Referenzstation 20. Die unteren fünf Spuren sind gewöhnliche magnetotellurische Zeitreihen von den entsprechenden Stationen. Man findet rein visuell keine elektromagnetischen Signale, die dem seismischen Signal - in diesem Fall wahrscheinlich ein MP-event- auf den beiden Stationen entsprechen. Der Ausschlag an der Station 20 bei 7 sec findet sich zwar an der Station 30 wieder, aber eher in den magnetischen, als in den elektrischen Feldern, während man einen größeren Einfluß auf die elektrischen Felder erwarten würde.

Da der visuelle Vergleich keine eindeutige Aussage ermöglicht, wurde versucht, integrale Effekte abzuschätzen.

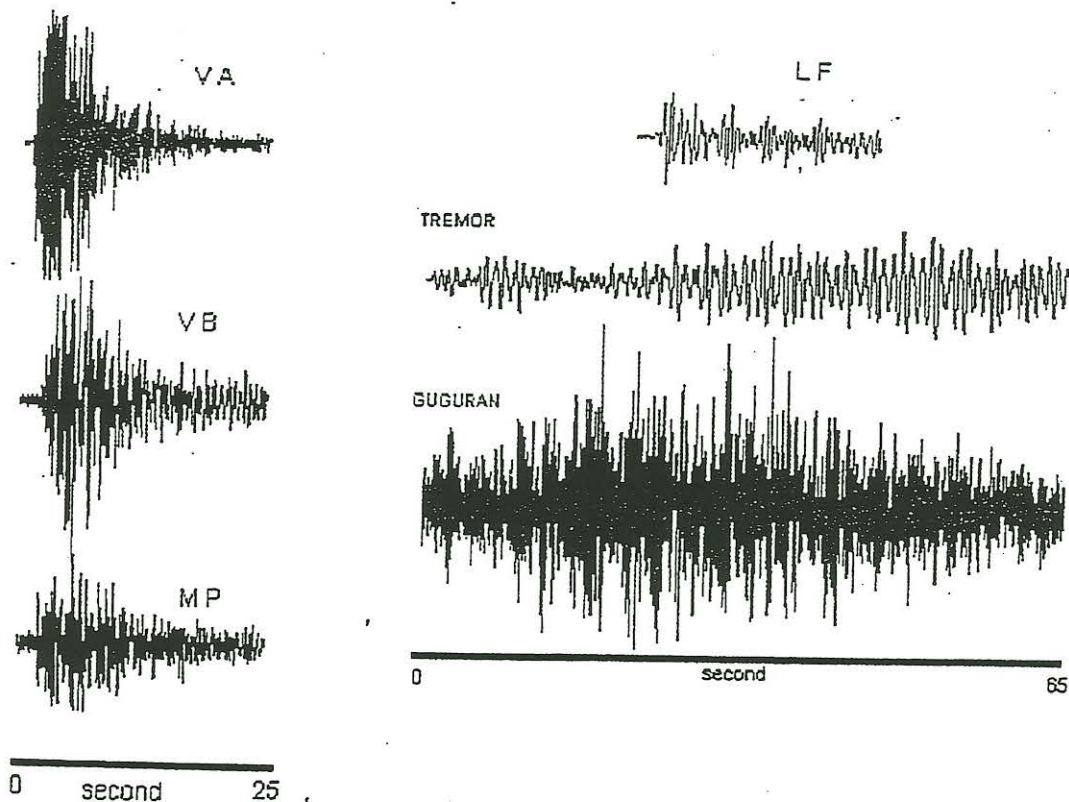


Abbildung 1: Klassifikation seismischer Signale am Merapi.

VA und VB sind Aufzeichnungen von vulkanischen Erdbeben, die durch spröden Bruch ausgelöst sind. MP - sind sogenannte Multiphasen-Signale, die im Messzeitraum am häufigsten auftraten. LF - low-frequency events. Sie sind eng mit dem Tremor verwandt und unterscheiden sich eventuell nur in der Energie der Magmabewegung. Guguran ist ein Steinfall oder Erdrutsch vom Lavadom

Dazu wurden die Daten über je 256 Punkte (= 1, "event") gemittelt. Die weiteren Berechnungen erfolgen im Frequenzraum. Für jedes Event (siehe Abb.4) wird eine Fouriertransformation durchgeführt und je ein Wert für folgende zeitabhängige Parameter berechnet: die bivariate Kohärenz, die Energie des elektrischen Feldes, das Quadrat der Amplitude des seismischen Signals und die theoretisch seismisch bedingte Amplitude des elektrischen Feldes (reduziertes elektrisches Feld).

$$\tilde{E}x_{red} = |\tilde{E}x - \tilde{E}x_{pred}|$$

$$\tilde{E}x_{pred} = Zxx\tilde{B}x + Zxy\tilde{B}y$$

Dabei entstehen aus gemessenen Signalzeitreihen (Abb.4) oben gemittelte Parameterzeitreihen (Abb.4) unten.

Auf der Abbildung 5 sind entsprechende Auswertungen für die Stationen 20 und 30 dargestellt. Im seismischen Kanal kann man drei Ereignisse unterscheiden - das erste, mit symmetrischen Flanken, während der ersten 50 events, dann ein zweites mit einer steilen linken Flanke bei event 100 und das dritte bei event 180. Auf der entsprechenden Signalzeitreihe sieht das erste seismische event wie ein Guguran aus, während die letzten beiden wie MP-events aussehen (vgl. Abb. 1). Wenn MP-events die elektrischen Felder beeinflusst hätten, dann wäre eine Korrelation zwischen reduziertem elektrischen Feld \tilde{E}_{red} und der seismischen Spur zu erwarten; außerdem würde die bivariate Kohärenz ein sichtbares Minimum beim event 100 haben. Die systematische Untersuchung zeigt aber, wie auch auf Abbildung 5 zu sehen, keinen Einfluss von MP-event auf das magnetotellurische Signal, zumindest nicht bei der vorliegenden Datenqualität.

Diskussion der Ergebnisse

Man kann sich folgende Gründe für die fehlende Korrelation vorstellen:

Rauschen

Die Daten an den beiden Stationen waren stark gestört, was zum Beispiel in der Abb. 5 an den niedrigen bivariaten Kohärenzen zu sehen ist. Dies könnte eine Ursache für die fehlende Korrelation sein.

In der Gleichung für \tilde{E}_{pred} wird angenommen, daß

1. die magnetischen Felder rauschfrei sind
2. die aus der gesamten Zeitreihe berechnete Übertragungsfunktion genau ermittelt ist.

Der Fehler, der sich bei der Berechnung des $\tilde{E}_{x_{red}}$ ergibt, beinhaltet ausserdem noch die „normalen“ Störungen des elektrischen Feldes. Möglicherweise ist dieser Fehler grösser als die erwartete Amplitude des Strömungspotentials.

MP-events

Da die Ursache von MP-events unbekannt ist, kann man auch kaum abschätzen, wie groß die von ihnen induzierten elektrischen Effekte sein können und wie schnell sie mit der Entfernung von der Quelle abklingen.

Seismisch bedingte mechanische Erschütterung der Induktionsspulen

Am empfindlichsten reagiert auf mechanische Erschütterungen gewöhnlich die Z-Spule. Die Korrelation zwischen Bz- und den seismischen Kanälen wurde mit Hilfe des gleichen Programmes untersucht: statt des Kanals Ex wurde Bz genommen und wie in Abb. 4 die Energie des Bz-Feldes, die bivariate Kohärenz sowie die gewöhnliche univariate Kohärenz zwischen seismischen und Bz Kanälen berechnet.

Diese Analyse zeigt aber, daß von den seismisch bedingten Erschütterungen keine sichtbaren Veränderungen der magnetischen Signale ausgehen.

Literatur

- [1] Chouet, B.A. 1988 Resonance of a fluid-driven crack: Radiation properties and implications for the source of long- period events and harmonic tremor. *J Geophys. Res.*, 93, 4375-4400
- [2] R.Schick, 1992, Volcanic tremor: seismic signal of unknown origin, *in: Volcanic seismology*
- [3] L. Jouniaux and J. Pozzi, 1995 Streaming potential and permeability of saturated sandstones under triaxial stress: Consequences for electrotelluric anomalies prior to earthquakes, *J Geophys. Res.*, 100, 10197-10209

Frequenzband 4-16 Hz

Mon 30 Jun 1997 14:06:30.625000 - Mon 30 Jun 1997 14:07:09.687500 / (20H42G12.RAW)

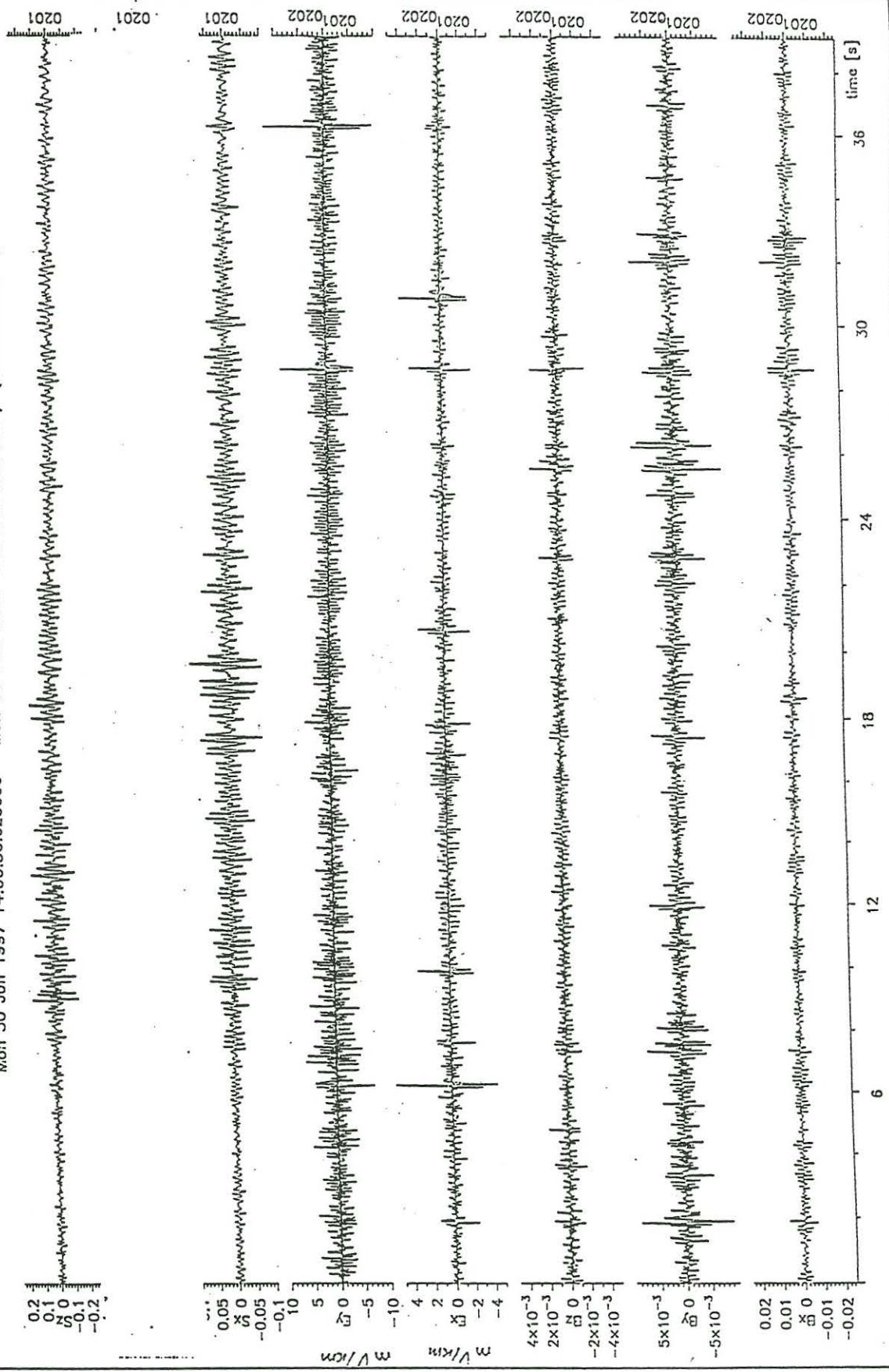


Abbildung 2: Zeitreihen von der Station 20

Frequenzband 4-16 Hz

Mon 30 Jun 1997 14:06:30.625000 - Mon 30 Jun 1997 14:07:01.875000 / (20H42G12.RAW)

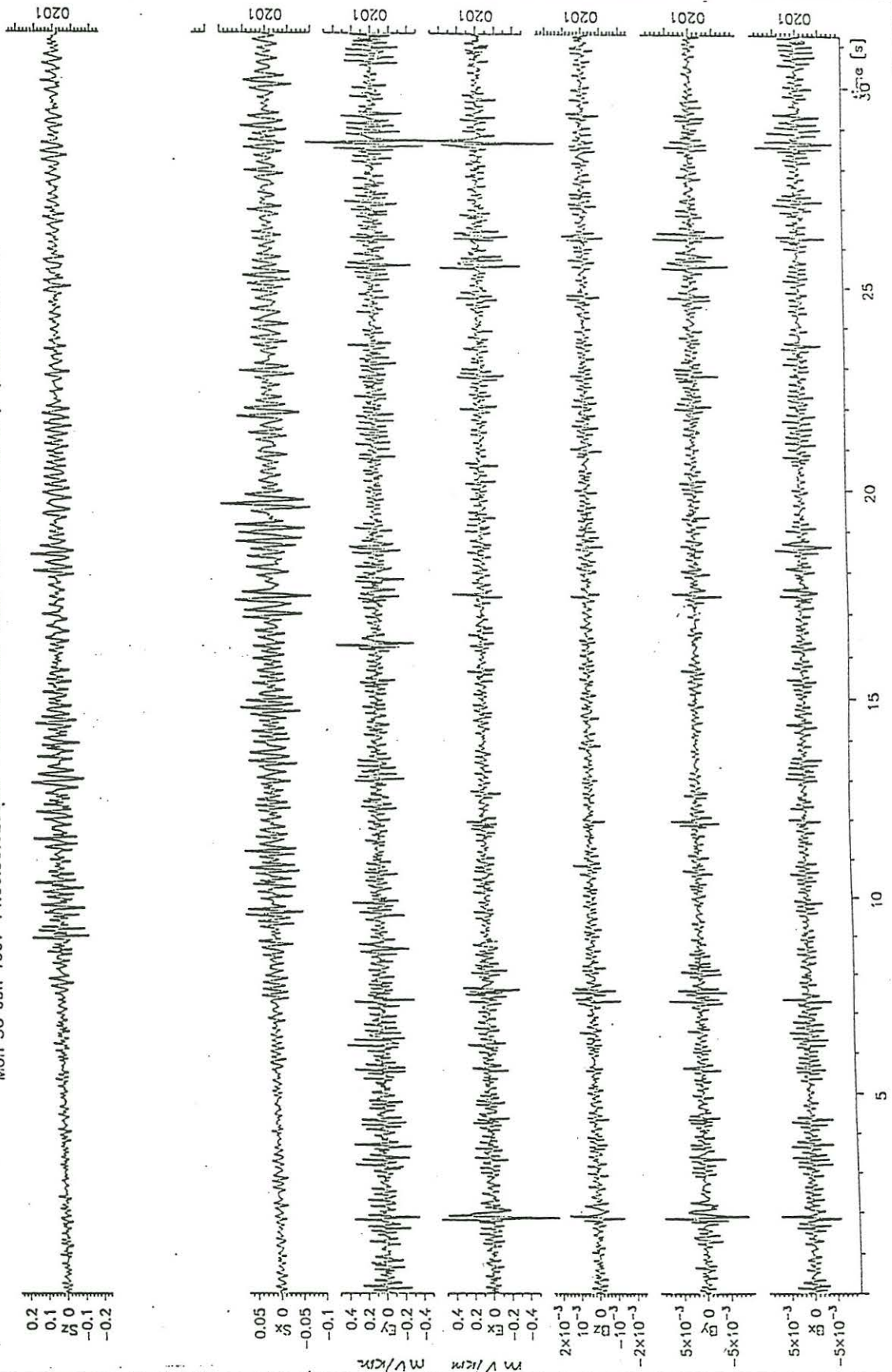


Abbildung 3: Zeitreihen von der Station 30

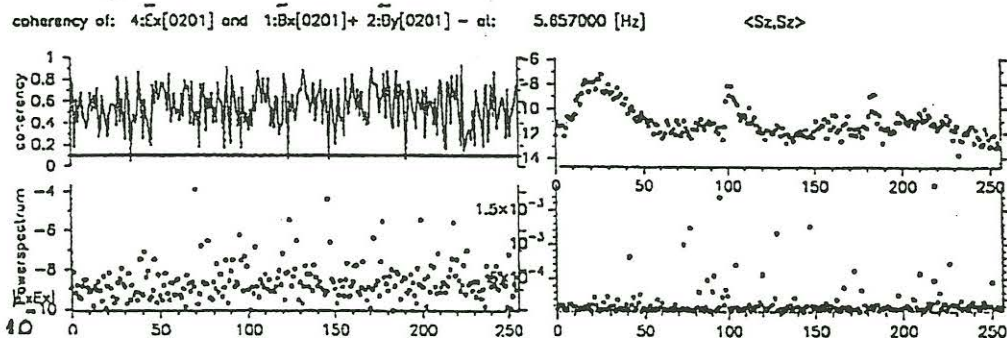
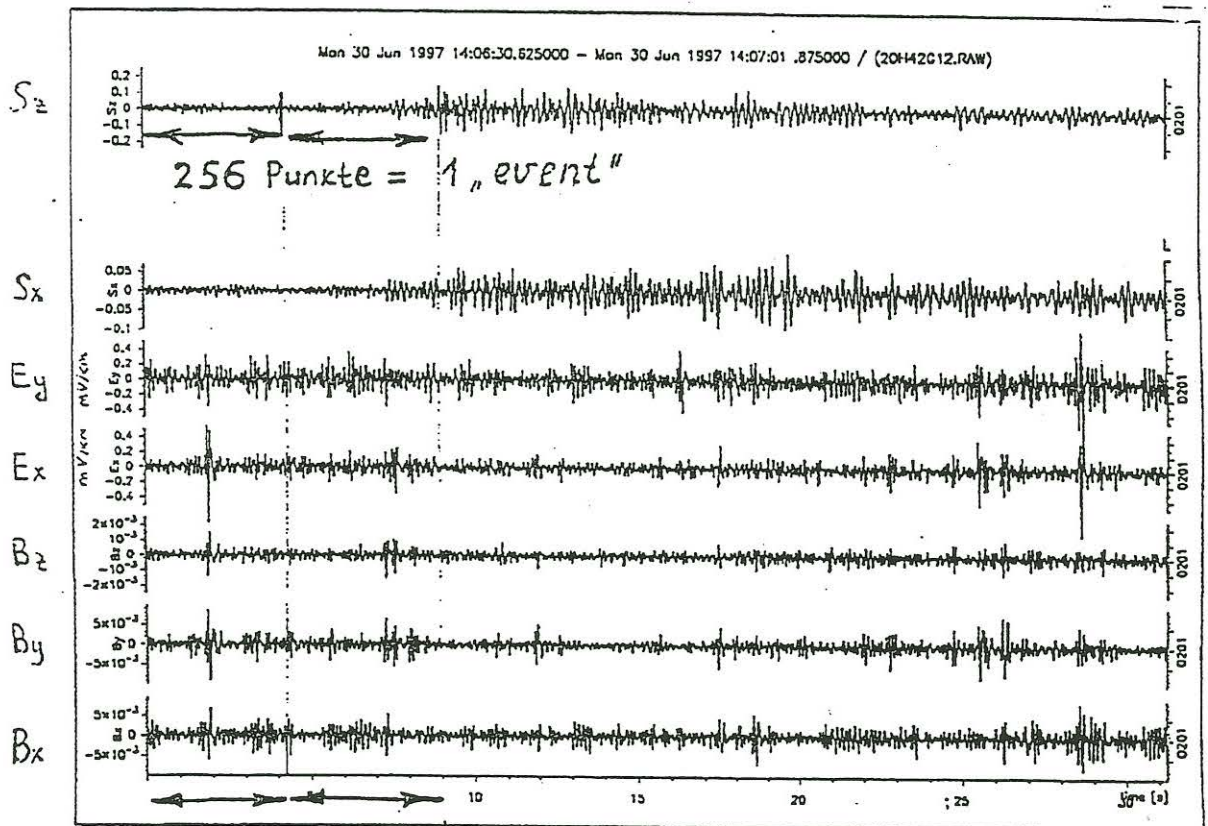


Abbildung 4: oben - eine Signalzeitreihe, unten - Parameterzeitreihe. Auf dem unteren Bild ist auf der X-Achse die Zeitabschnittnummer aufgetragen. Insgesamt sind 250 events à 256 Punkte dargestellt. Die Y-Achse für jedes kleine Bild hat unterschiedliche Bedeutung: a): die bivariate-Kohärenz, b): die Energie des elektrischen Feldes in mV/km (Zehnerpotenzen), c): das Quadrat der Amplitude des seismischen Signals und d): die ausgerechnete Amplitude des reduzierten elektrischen Feldes

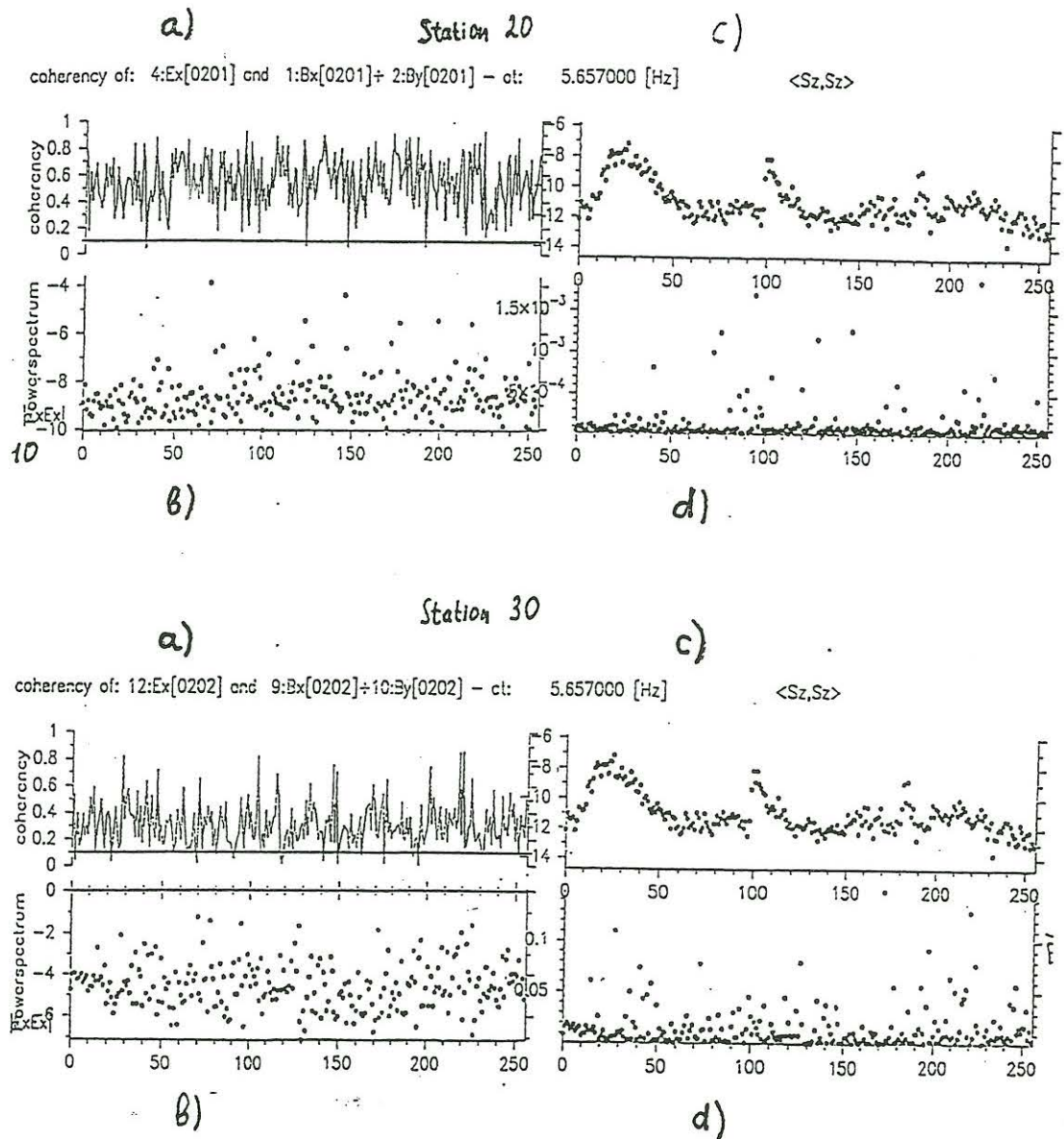


Abbildung 5: Parameterzeitreihen der Stationen 20 (oben) und 30 (unten).
 a): die bivariate Kohärenz, b): die Energie des elektrischen Feldes in mV/km (Zehnerpotenzen), c): das Quadrat der Amplitude des seismischen Signals und d): die theoretisch seismisch bedingte Amplitude des elektrischen Feldes (s. Text)