

# Magnetfeld-Signale in seismischen Registrierungen

Thomas Forbriger (IMG Frankfurt)

Arbeitsgruppe Seismologie, September 2002, Potsdam

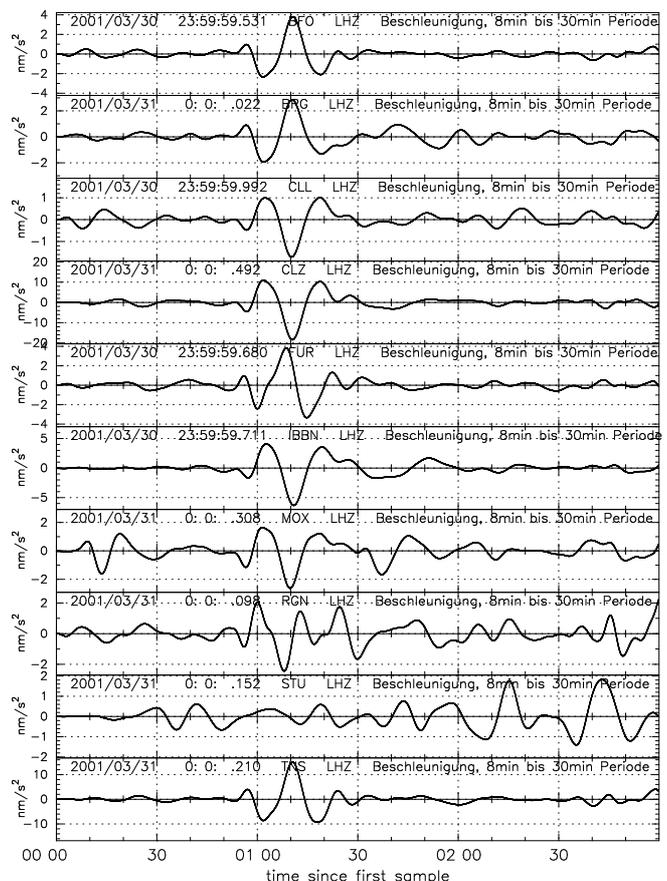
Breitband-Seismometer reagieren auf Variationen des Magnetfeldes. Das ist wohl bekannt und wird darauf zurückgeführt, dass die Legierungen der Tragfedern temperaturkompensiert sein müssen und dann nicht gleichzeitig unmagnetisch sein können (Wielandt, 2000, Abschnitt 5.4). Die Antwort eines STS-2 auf einen magnetischen Sturm wurde bereits früher von Zürn in der Arbeitsgruppe vorgestellt. Dieses Beispiel findet man auch bei Klinge (2001). Neuere Untersuchungen an den Registrierungen der GRSN-Station TNS legen nahe, dass dort Verzerrungen des statischen Erdmagnetfeldes, die durch vorbeifahrende Fahrzeuge verursacht werden, auch zu langperiodischen Störungen in den seismischen Registrierungen führen.

## 1 Magnetischer Sturm

Die Empfindlichkeit des STS-2 der Station TNS für magnetische Signale kann durch die Antwort des Instruments auf einen magnetischen Sturm am 31.3.2001 belegt werden. In Abb. 2 ist links die Magnetfeldregistrierung in Fürstfeldbruck im Periodenband 8min bis 30min dargestellt sowie die Beschleunigungsantwort von TNS im selben Periodenband (rechts). Die Signale weisen die gleiche Kurvenform auf. In Abb. 3 ist die Magnetfeldvariation (schwarz) zum direkten Vergleich über die Beschleunigungsantwort von BFO (rot) gelegt. Die Kohärenz der Signale ist offensichtlich. Das Magnetfeld erzeugt eine scheinbare Kraft auf die seismische Masse. Vergleiche mit anderen Regionalnetzstationen (Abb. 1) zeigen die gleiche Wellengruppe an allen Stationen außer STU. Allerdings variieren Vorzeichen und die Amplitude. STU ist die einzige Station im GRSN die mit einer magnetischen Abschirmung<sup>1</sup> ausgerüstet ist.

## 2 Störungen durch Fahrzeuge

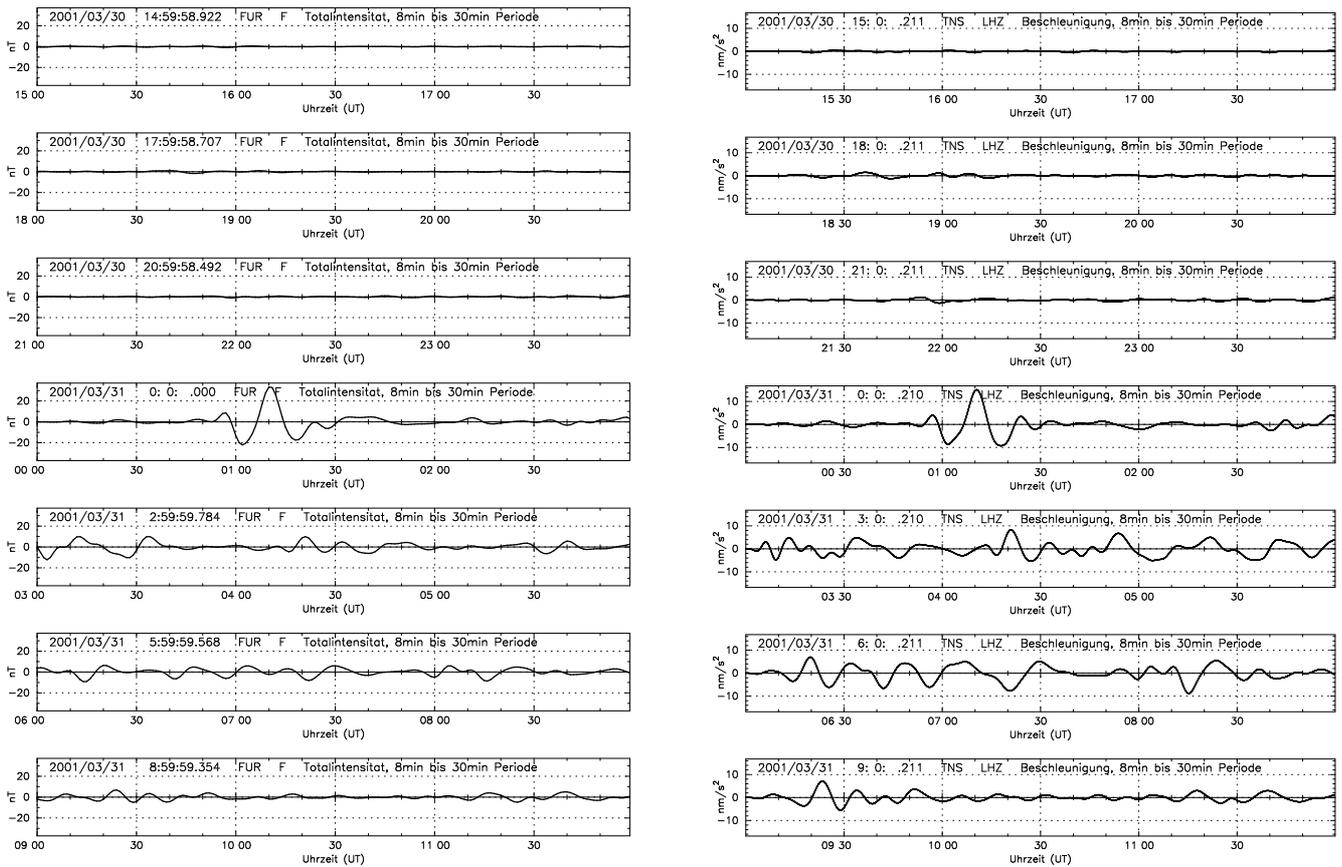
Abb. 4 zeigt eine Tagesabspiegelung der seismischen Spuren von TNS mit einer SRO-Charakteristik. Dargestellt sind alle drei Komponenten. Die Impulse mit großer Amplitude werden durch Lastfahrzeuge hervorgerufen, die zu einer Baustelle am Gipfel des Kleinen Feldbergs fahren. Die Pulse treten immer paarweise auf. Der jeweils größere, erste Puls wird



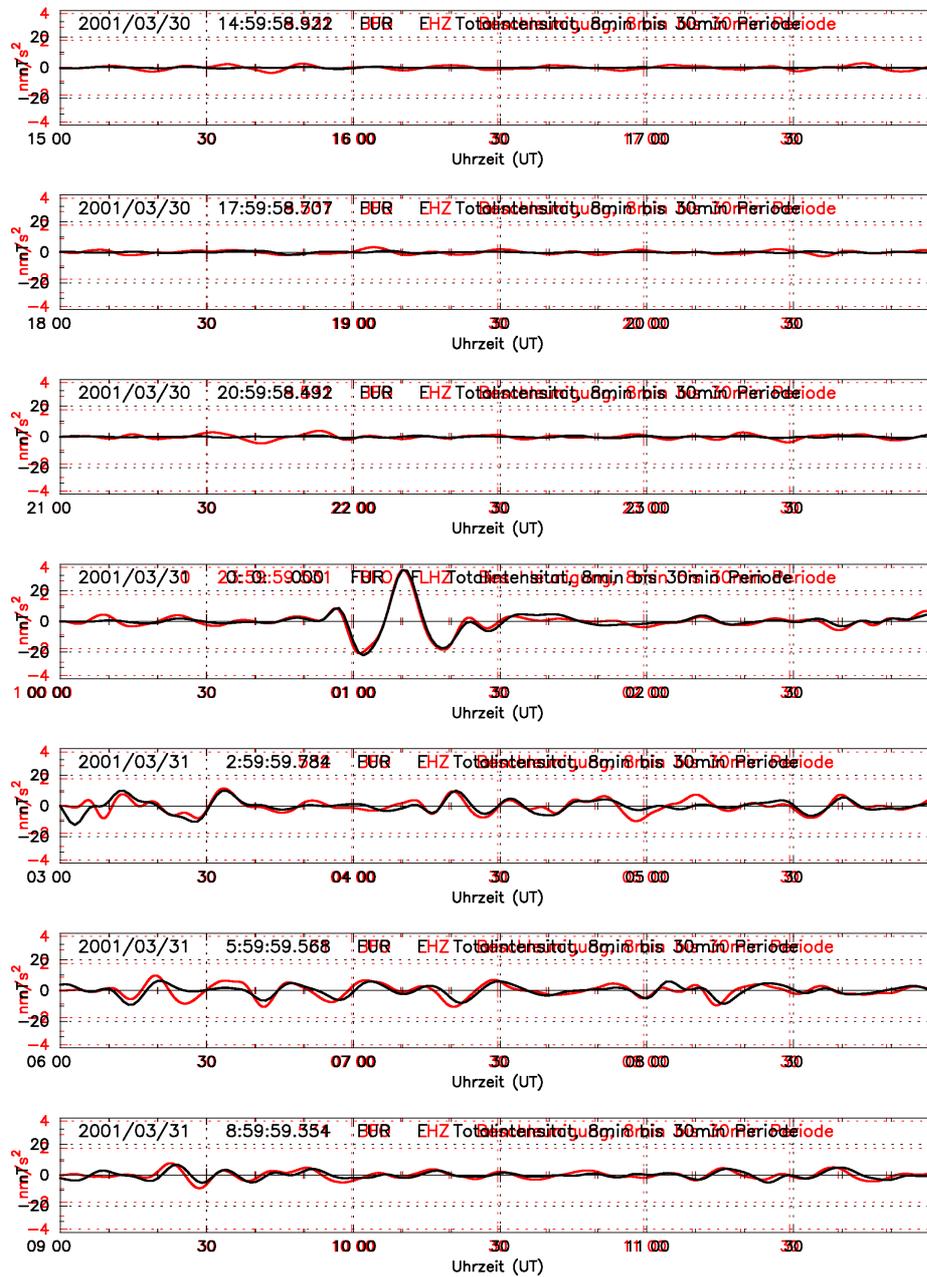
**Abbildung 1:** Magnetischer Sturm. In Folge einer Korona-Eruption während des Sonnenfleckenmaximums trat am 31.3.2001 ab ca. 1:00 UT ein magnetischer Sturm auf (Abb. 2).

Die Beschleunigungsantwort einer Reihe willkürlich ausgewählter GRSN-Stationen zeigt an allen Stationen die gleiche Wellengruppe als Antwort auf den magnetischen Sturm. Vorzeichen und Amplitude variieren jedoch von Station zu Station. STU hat als einzige eine magnetische Abschirmung und zeigt die charakteristische Störung deshalb nicht.

<sup>1</sup>Station STU (<http://www.geophys.uni-stuttgart.de/STU/>) „A picture-tour to the seismometer“: <http://www.geophys.uni-stuttgart.de/STU/gallery/Hstu.html>



**Abbildung 2:** Magnetischer Sturm. In Folge einer Korona-Eruption während des Sonnenfleckensmaximums trat am 31.3.2001 ab ca. 1:00 UT ein magnetischer Sturm auf. Links: Totalintensität des Magnetfeldes in Fürstfeldbruck im Periodenband 8 min bis 30 min. Rechts: Beschleunigungsantwort der Vertikalkomponente von TNS im selben Periodenband. Das Seismometer sieht die Magnetfeldvariationen als scheinbare Kraft auf die seismische Masse.



**Abbildung 3:** Magnetischer Sturm. Zum direkten Vergleich ist hier die Magnetfeldvariation in Fürstenfeldbruck (schwarz) über die Beschleunigungsantwort von BFO (rot) gelegt. Die große Kohärenz beider Signale ist offensichtlich.

durch das zum Gipfel fahrende, beladene Fahrzeug hervorgerufen, der kleinere, zweite durch das entladene Fahrzeug bei der Talfahrt. Die Horizontalkomponenten sind zueinander in der Phase verschoben. Bei der Bergfahrt tritt der Ausschlag zuerst in der Ostkomponente auf, bei der Talfahrt in der Nordkomponente.

## 2.1 Neigungen

Die großen Signale in den Horizontalkomponenten sind durch Neigungen von wenigen  $\mu^\circ$  verursacht, die durch die Fahrzeugauflast hervorgerufen werden. In die Horizontalkomponenten des gekippten Seismometers koppelt ein Teil der statischen Schwerebeschleunigung ein. Dies erzeugt langperiodische Impulse mit großen Amplituden. Dieser Effekt wurde eingehend untersucht und ist gut verstanden (z.B. Wielandt und Forbriger, 1999). Abb. 5 zeigt das restituierte Neigungssignal. Trägt man dieses in Polarkoordinaten auf, so ist die Vorbeifahrt der Fahrzeuge nachvollziehbar (Abb. 6). Der Fahrweg führt von Südosten nach Nordwesten im Nordosten an der Station vorbei. Bei der Bergfahrt kommen die Fahrzeuge von Südosten.

Warum die Fahrzeuge auch ein Signal in der Vertikalkomponente erzeugen (Abb. 7) ist zunächst unklar. Während der Neigungseffekt linear in das Signal der Horizontalkomponente eingeht, ist er in der Vertikalkomponente nur ein Effekt zweiter Ordnung. Eine Neigungsempfindlichkeit mit der beobachteten Amplitude kann in der Z-Komponente nur bei Vorverkipfung um mindestens  $2^\circ$  auftreten und wurde experimentell ausgeschlossen.

## 2.2 Verzerrung des Erdmagnetfeldes

Aufgrund der Beobachtung des magnetischen Sturmes kann abgeschätzt werden, dass ein Beschleunigungssignal der beobachteten Amplitude von  $10 \text{ nm/s}^2 = 10^{-9}g$  durch eine Magnetfeldvariation von 15 nT erzeugt werden kann. Die Fahrzeuge passieren das Seismometer in einer räumlichen Distanz von nur ca. 15 m. Daher halte ich die Magnetfeldverzerrung für eine plausible Ursache der Störsignale.

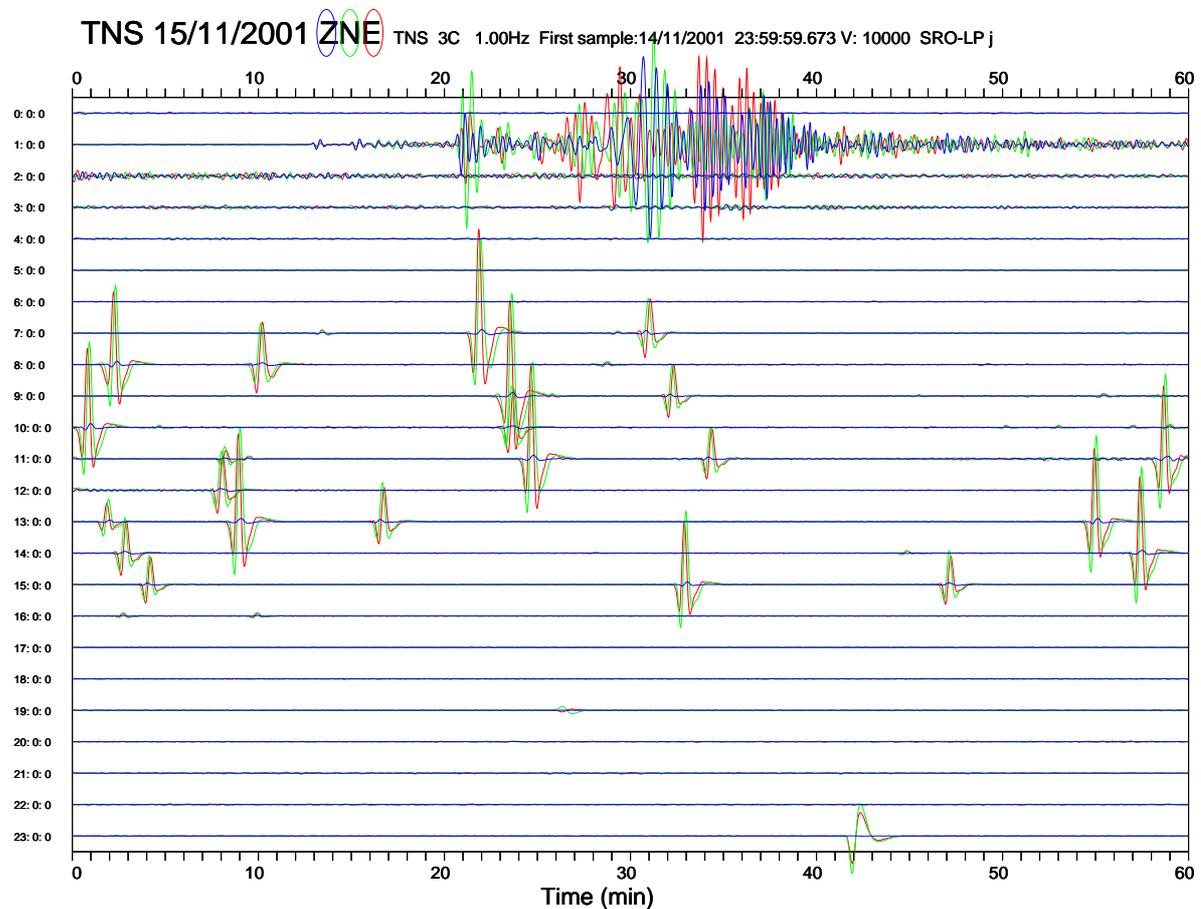
Andere, zunächst näher liegende Effekte können ausgeschlossen werden, insbesondere da diese direkt mit der Masse des Fahrzeugs skalieren, was für das Signal in der Z-Komponente aber offenbar nicht gilt (Abb. 7). Diese Effekte sind:

1. Vertikalverschiebung durch die Auflast-bedingte Boden-deformation: Dieser Effekt hätte einen Impuls in der Verschiebungsantwort des Seismometers und nicht in der Beschleunigungsantwort zur Folge. Letztere hätte die Form der zweiten zeitlichen Ableitung des Neigungssignals (Wielandt und Forbriger, 1999). Diese hat aber ein positives Maximum und passt nicht zur beobachteten Signalform.
2. Eine relative Dichteänderung der Luft um nur  $5 \cdot 10^{-6}$  würde eine Änderung im Auftrieb der seismischen Masse in der beobachteten Größenordnung hervorrufen. Es ist allerdings kein Mechanismus vorstellbar, durch den ein vorbeifahrendes Fahrzeug eine entsprechende Dichteänderung im Inneren des Seismometers hervorrufen kann.
3. Ein Fahrzeug mit 35 t Masse würde eine gravitative Beschleunigung der beobachteten Größenordnung auf die seismische Masse ausüben. Die Masse der Fahrzeuge am Feldberg war definitiv kleiner.
4. Hydraulische Hebung: Wir wissen, dass im Zwischenraum zwischen Fels und Bunker Wasser bis auf eine Höhe von mehr als 2 m über dem Seismometerniveau stand. Würde das Wasser durch das Fahrzeug verdrängt, könnte dies den Bunker anheben. Die seismische Masse würde im Schwerfeld der Erde eine kleinere Schwerebeschleunigung erfahren. Dazu müsste der Bunker allerdings seine Ankopplung an den Felsen verloren haben. Außerdem würde die höhenbedingte Änderung der Schwerebeschleunigung erst ab Signalperioden von 1 h über die mit der Bewegung verbundene translatorische Beschleunigung dominieren.

Das gewählte Beispiel ist ein Extremfall. In der Regel verkehren nur wenige PKW pro Woche auf dem Fahrweg zum Gipfel des Kleinen Feldbergs. Während das Seismometer relativ leicht gegen magnetische Störungen abgeschirmt werden könnte, ist dies in Bezug auf die wesentlich größeren Störsignale durch Neigungen nicht möglich. Diese könnten nur vermieden werden, indem der Fahrzeugverkehr zum meteorologischen Observatorium am Gipfel des Kleinen Feldbergs weitgehend unterbunden würde oder indem das Seismometer an einen vom Zufahrtsweg weiter entfernten Standort verlegt würde.

## Literatur

- Klinge K., 2001. Broadband seismic noise at stations of the GRSN. In: M. Korn (Herausgeber), *Ten Years of German Regional Seismic Network (GRSN)*. <[http://www.geo.uni-leipzig.de/~theo/](http://www.geo.uni-leipzig.de/~theo/geo/)>.
- Wielandt E., 2000. Seismic sensors and their calibration. In: P. Bormann und E. Bergmann (Herausgeber), *New Manual of Seismological Observatory Practice*, GeoForschungsZentrum, Potsdam, Germany. <[http://www.geophys.uni-stuttgart.de/seismometry/man\\_html/index.html](http://www.geophys.uni-stuttgart.de/seismometry/man_html/index.html)>, <<ftp://ftp.geophys.uni-stuttgart.de/pub/ew/postscripsts/manual.ps>>.
- Wielandt E. und Forbriger T., 1999. Near-field seismic displacement and tilt associated with the explosive activity of Stromboli. *Annali di Geofisica*, 42(3): 407–416. <<http://geophysik.uni-frankfurt.de/~forbrig/>>.



**Abbildung 4:** Störungen durch Lastfahrzeuge. Am 15.11.2001 fuhren zahlreiche Lastfahrzeuge zu einer Baustelle am Gipfel des Kleinen Feldbergs. Der Zufahrtsweg führt in unmittelbarer Nähe (ca. 5 m horizontaler Abstand) am Bunker der GRSN-Station TNS vorbei. Gezeigt ist eine SRO-Abspielung aller drei Komponenten (blau: vertikal, rot: Nord, grün: Ost).

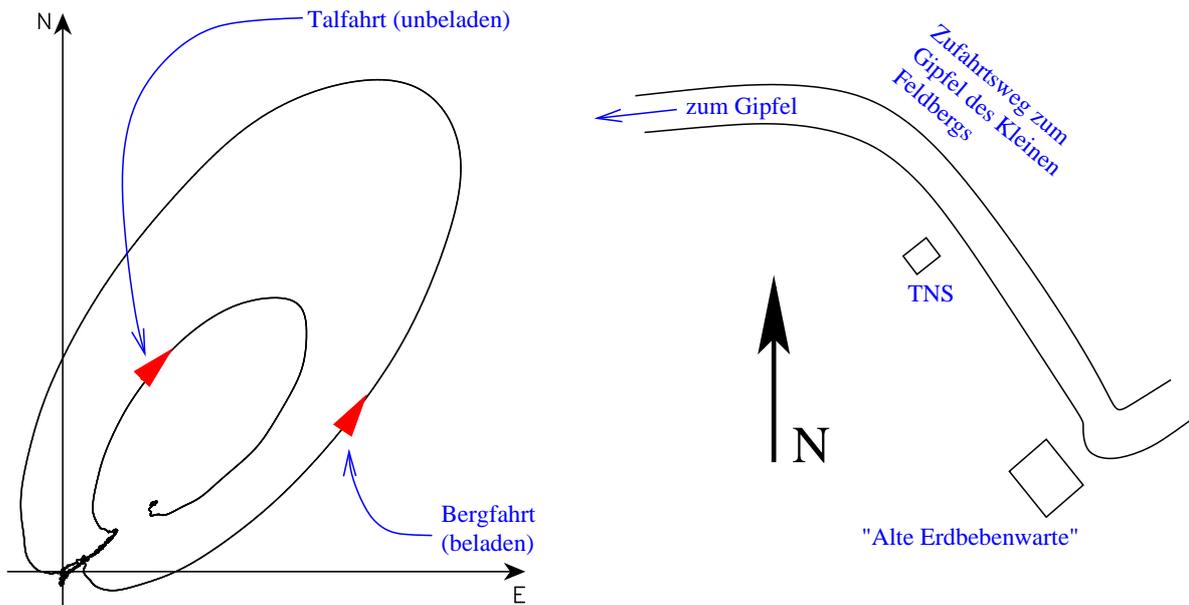
Die Fahrzeuge erzeugen langperiodische, impulshafte Störungen mit großer Amplitude auf den Horizontalkomponenten. Diese erklären wir als Folge einer Kippung des Seismometers um wenige  $\mu^\circ$  die durch eine Bodendeformation aufgrund der Auflast der Fahrzeuge verursacht wird. Die Impulse gehören immer paarweise zu einem bergauf und einem bergab fahrenden Fahrzeug. Bei der Bergfahrt sind die Fahrzeuge beladen und die Amplituden der Horizontalkomponenten sind größer. Zwischen der Nord- und der Ost-Komponente treten charakteristische Phasenverschiebungen auf. Bei der Bergfahrt kommt das Fahrzeug von Osten und entfernt sich nach Norden. Entsprechend tritt das Signal zuerst in der Ost-Komponente auf. Bei der Talfahrt ist die Situation umgekehrt.

Neben den Störungen auf den Horizontalkomponenten werden auch Impulse in der Vertikalkomponente beobachtet. Diese können nicht durch eine Deformation des Bodens durch die Fahrzeug-Auflast erklärt werden. Eine Verzerrung des statischen Erdmagnetfeldes um 15 nT in 15 m räumlichem Abstand vom Fahrzeug könnte diese Signale aber erklären.

Die NEIC-Lokation (PDE) für das Beben-Signal ab 1:13 UT lautet: 15.11.2001 1:03:05 UT, 1.59°S, 15.58°W, 10 km, M 6.3, North of Ascension Island,  $\Delta = 55.57^\circ$ .

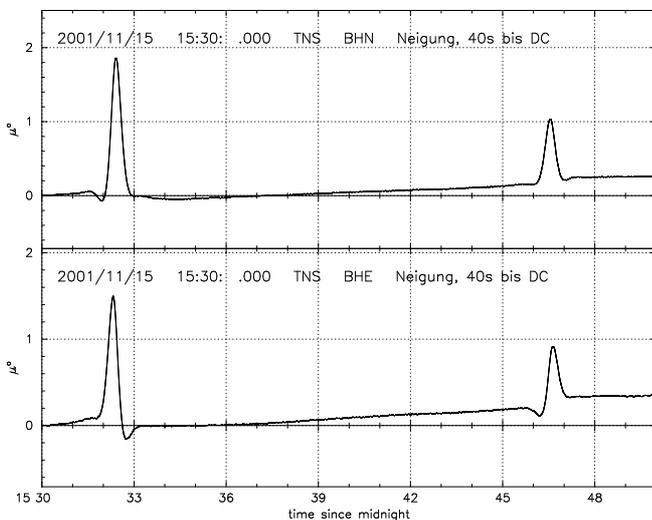
Das Signal um 23:41:30 UT ist ein Schritt in der Beschleunigungsantwort der Horizontalkomponenten. Ich führe dieses auf Setzungen zurück. Das Seismometer wurde wenige Tage zuvor mit Gabbro-Platte und Kochtopf neu installiert. Die Installation ruht auf drei Blei-Plättchen, die sich in den ersten Tagen noch der rauhen Oberfläche des Untergrundes anpassen müssen und dabei zu leichten Setzungen führen (kleiner  $1 \mu^\circ$ ).

TNS 15/11/01 15:30 UT, Neigung 40s bis DC

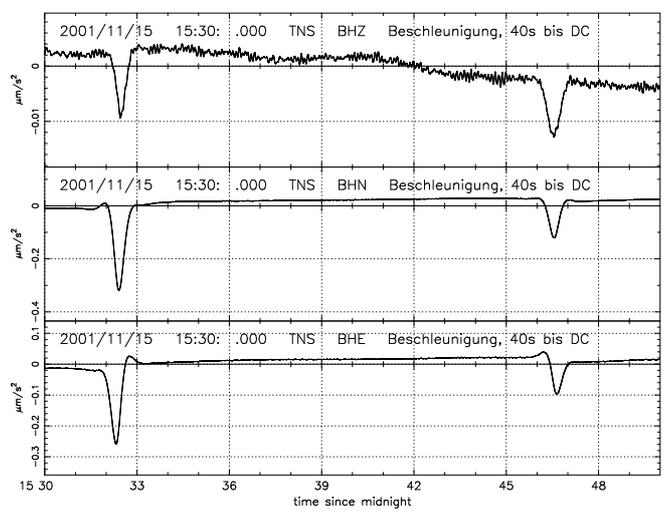


**Abbildung 6:** Polardarstellung der von Fahrzeugen verursachten Neigung. Links: Das Neigungssignal aus Abb. 5 wurde in der Horizontalebene abgespielt. Die Pfeile geben die Richtung an in der das Signal abläuft. Rechts: Skizze der Gipfelregion des Kleinen Feldbergs. Dargestellt sind der Zufahrtsweg, der Seismometerbunker der Station TNS und die nicht mehr benutzte „Alte Erdbebenwarte“.

Bei der Bergfahrt kommt das Fahrzeug von Osten und entsprechend setzt die Neigung in dieser Richtung ein. Die größte Neigung wird erreicht, wenn sich das Fahrzeug nordöstlich des Seismometers befindet. Dann entfernt es sich nach Westnordwest. Bei der Talfahrt wird die Ellipse in umgekehrter Richtung durchlaufen. Das Fahrzeug ist dann leichter und die maximale Neigung ist kleiner.



**Abbildung 5:** Restituiertes Neigungssignal. Aus den Horizontalkomponenten wurde das für Perioden größer 40 s zur Boden­neigung proportionale Signal restituiert. Die Tilt-Winkel liegen in der Größenordnung von wenigen  $\mu^\circ$ . Da durch Kippung des Seismometers ein Teil der statischen Schwerebeschleunigung in die Horizontal­komponenten eingekoppelt wird, ergeben auch kleine Kippwinkel beträchtliche Amplituden in der Seismometerantwort. Links ist die Antwort auf einen bergauf fahrenden Lastwagen zu sehen. Der zweite Puls wurde durch einen bergab fahrenden, entladenen LKW erzeugt. Die leichte Drift der Basislinie ist ein Artefakt der Signal­verarbeitung und nicht signifikant.



**Abbildung 7:** Beschleunigungsantwort des Seismometers bei der Vorbeifahrt eines Lastfahrzeugs. Auch auf der Vertikalkomponente erzeugt das vorbeifahrende Fahrzeug einen langperiodischen Störpuls mit  $10^{-9} g$  Amplitude. Die seismische Masse wird scheinbar leichter. Die Amplitude dieser Störung skaliert aber offenbar nicht mit der Masse des Fahrzeugs. Eine Störung dieser Signalform und Größenordnung in der Z-Komponente kann nicht durch eine Deformation des Bodens durch Fahrzeug-Auflast verursacht werden. Eine Verzerrung des statischen Erdmagnetfeldes in der Größenordnung von 15 nT in 15 m Entfernung vom Fahrzeug könnte jedoch dieses Signal hervorrufen.