

# Wiechert'sche Erdbebenwarte Göttingen - Auswertung seismischer Daten als Thema einer Facharbeit

Pascal Schmitt, Udo Wedeken & Volker Zürn

Wiechert'sche Erdbebenwarte Göttingen e.V., [www.erdbebenwarte.de](http://www.erdbebenwarte.de)

Kontakt: [info@erdbebenwarte.de](mailto:info@erdbebenwarte.de)

Mitglieder des gemeinnützigen Vereins „Wiechert'sche Erdbebenwarte Göttingen e.V.“ betreuen weiterhin ihre Erdbebenwarte mit den Stationen GTT (Wiechert-Seismographen) und GTTG (STS-2-Seismometer der BGR). Wegen der Corona-Pandemie konnten zwar viele geplante Führungen und die Feier zum 15-jährigen Jubiläum des Vereins nicht stattfinden (BEISERT et al. 2020, WEDEKEN et al. 2021), aber mit Hilfe der Homepage des Vereins ([www.erdbebenwarte.de](http://www.erdbebenwarte.de)) wurden Kontakte gepflegt, und das Interesse an der Erdbebenwarte und der Vereinsarbeit blieben bestehen. Somit wurde auch der Schüler Pascal Schmitt inspiriert, eine Facharbeit über Erdbeben zu schreiben und Mitglied des Vereins zu werden. Eine Kurzfassung seiner mit „Homeschooling“ erstellten Facharbeit (SCHMITT 2021) stellen wir jetzt mit einigen Ergänzungen vor.

Im Frühjahr 2021 habe ich, Pascal Schmitt, als Schüler der Klasse 12 am Felix-Klein-Gymnasium in Göttingen eine Facharbeit zum Thema „Auswertung seismischer Daten“ geschrieben. Grundlage bildeten die Göttinger Registrierungen eines Nahbebens in Kroatien und eines Fernbebens in Alaska. In dieser Arbeit werden wesentliche Prinzipien seismischer Wellen und ihrer Messung erläutert, sodass man einige Informationen zu einem Erdbeben aus einem seismischen Datensatz herauslesen kann. Nach der Analyse der beiden Beispiele von Erdbebenregistrierungen wird die Frage geklärt, wie ein seismisches Aufzeichnungsgerät funktioniert und was überhaupt auf Seismogrammen abgebildet wird. Ferner wird in der Facharbeit erläutert, wie die Amplitude seismischer Wellen von der Entfernung des Erdbebens abhängt, und es wird der Begriff Erdbebenmagnitude vorgestellt.

Die Erdbebendaten der beiden Beispiele wurden von der Internetseite des GFZ (GeoForschungsZentrum) in Potsdam heruntergeladen (GFZ-EIDA, Zugriff am 02.02.2021) und mittels einer Konvertierungssoftware in ein brauchbares Dateiformat umgewandelt (GFZ-GIPP, Zugriff am 28.02.2021). Die Visualisierung und Verarbeitung (z.B. die Bestimmung von Maxima und Minima) erfolgte mithilfe der Pakete *eseis* und *ggplot2* der Software R.

## Beispiele von Seismogrammen

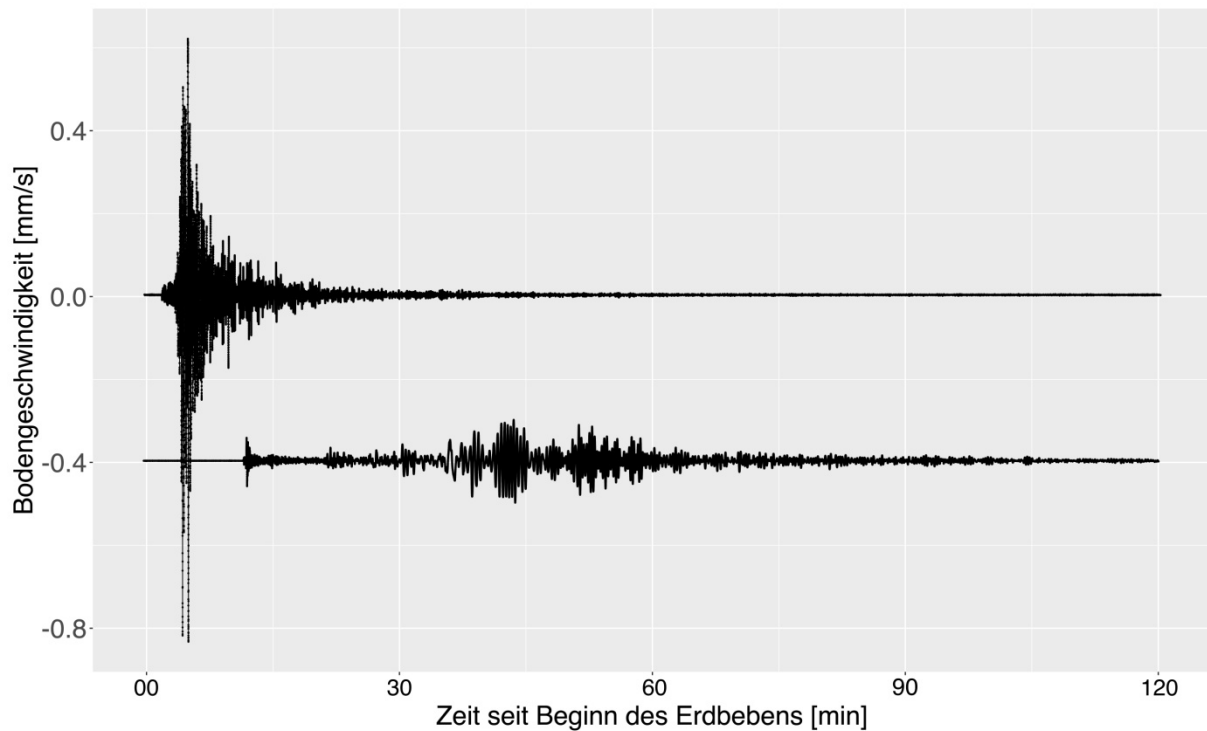


Abb. 1: Seismogramme von GTTG-Z; oben USGS-KR (Kroatien), unten USGS-AL (Alaska)

In Abb. 1 sind die Vertikalkomponenten zweier seismischer Datensätze dargestellt, die vom STS-2-Seismometer der Station GTTG in der Göttinger Erdbebenwarte aufgezeichnet wurden. Diese Station GTTG wurde im Januar 2006 von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) eingerichtet und ist Teil des deutschen Regionalnetzes GRSN.

Der obere Graph ist am 29. Dezember 2020 gemessen worden, als ein Erdbeben der Magnitude 6,4 Kroatien erschüttert hat (USGS-KR, Abruf am 21.02.2021). Dieses Erdbeben gilt aus Göttinger Sicht als ein Nahbeben, da sich das Epizentrum in einer Entfernung von 815 km befindet.

In Kontrast dazu ist der untere Datensatz vom 19. Oktober 2020, als sich ein Erdbeben der Magnitude 7,6 vor der Küste von Alaska ereignete (USGS-AL, Abruf am 21.02.2021). Hierbei handelt es sich um ein Fernbeben, da die Entfernung des Epizentrums zur Messstation 8170 km beträgt (Luftlinie) – also 10-mal weiter entfernt ist als das Kroatienbeben.

Auf der x-Achse ist die Zeit seit Beginn des Erdbebens abgebildet, wodurch sich besonders die unterschiedlichen Eintreffzeiten der seismischen Wellen gut erkennen lassen. Die ersten Erdbebenwellen, die sogenannten p-Wellen, erreichen Göttingen beim Kroatienbeben nach 108 s, während sie beim Alaskabeben nach 690 s registriert werden. Trotz 10-facher Luftlinien-Entfernung beträgt der Faktor der Laufzeiten der p-Wellen nur 6,4 - diese Raumwellen sind den schnellsten Weg durch das Erdinnere gelaufen.

Die y-Achse zeigt die Geschwindigkeit an, mit der sich der Boden bewegt. Die Skala wurde beim Alaskabeben um -0,4 mm/s verschoben, um beide Registrierungen voneinander zu trennen. Die in Göttingen registrierte Bodengeschwindigkeit ist beim Alaskabeben trotz größerer Erdbebenmagnitude wesentlich kleiner, und die Aufzeichnungen dauern deutlich länger an – das liegt an den unterschiedlichen Welleneinsätzen, denn die Wellen kommen durch Verwerfungen oder Reflexionen an Gesteinsschichten auf unterschiedlichen Wegen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten nach Göttingen.

Doch wie wird überhaupt solch ein Seismogramm aufgezeichnet? Und können die von Emil Wiechert in Göttingen entwickelten Geräte überhaupt noch mit modernen Seismometern mithalten?

### Seismische Aufzeichnungsgeräte

Bei alten Seismographen wie den von Emil Wiechert in Göttingen entwickelten Geräten und bei neuen Modellen wie dem modernen STS-2-Seismometer von Streckeisen läuft es auf das erste Newtonsche Gesetz hinaus, nämlich das Trägheitsprinzip. Ein seismisches Aufzeichnungsgerät funktioniert mithilfe eines Gestells, worauf eine in die zu messende Richtung frei bewegliche Masse aufgehängt ist. Wenn die Erde bebt, bewegt sich das Gestell mit der Erde, die Masse bleibt aber der Trägheit wegen ruhig, zumindest für eine gewisse Zeit.

Die Wiechert-Seismographen funktionieren in etwa so: Eine Nadel liegt auf einer mit Ruß beschichteten umlaufenden Papierrolle und ritzt einen Graphen hinein. Die Nadel ist über ein Hebelsystem mit der Masse verbunden, das Rußpapier bewegt sich mit dem Vorschub und der Bodenverschiebung. Wenn jetzt die Erde bebt, bleibt die Masse und damit die Hebelankopplung der Nadel ruhig und alles andere bewegt sich. Auf das Rußpapier wird die Verschiebung der Erde - verstärkt in der zu messenden Richtung durch das Hebelsystem - eingeritzt. Damit ein Seismogramm entsteht, also ein Ausschlag in Abhängigkeit von der Zeit, wird die Papierrolle entlang der t-Achse gleichmäßig verschoben. Wer schon einmal die mechanischen Meisterwerke von Emil Wiechert sehen durfte, der wird von ihrer Größe überwältigt sein. Sie sind so groß, weil die frei bewegliche Masse sehr schwer sein muss, um die Bodenbewegung über den Hebeleffekt zu vergrößern und die Reibung der Nadel auf dem Rußpapier zu überwinden. Bei RITTER (2002) findet man eine genaue Beschreibung der Wiechert-Seismographen.

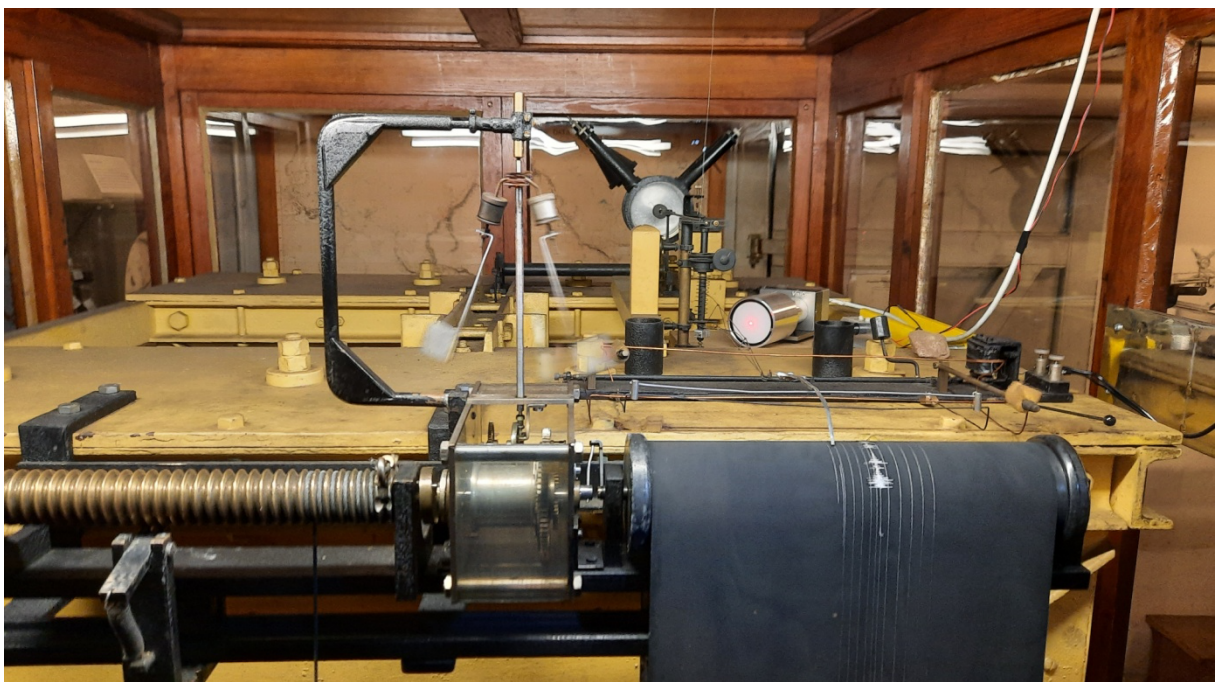


Abb. 2: Astaticher Vertikalseismograph von Wiechert, Göttinger Station GTT-Z;  
Foto: P. Schmitt

In Abb. 2 ist rechts das schwarze Rußpapier zu erkennen, welches sich dank eines Fliehkraftreglers (Bildmitte) mit einer konstanten Geschwindigkeit dreht. Auf dem Papier liegt die Nadel und ritzt einen Graphen ein. Etwas rechts von der Nadel kann man erkennen, dass der Seismograph vor einiger Zeit eine Erdbewegung registriert hat. Im Hintergrund sieht man eine Kamera, die mit Hilfe einer Streuscheibe den Lichtstrahl eines Diodenlasers verarbeitet. Dieser Lichtstrahl wird von einem kleinen Laserspiegel reflektiert, der an der Drehachse des Schreibarms festgeklemmt wurde. Damit wird bei dieser Komponente ein Ausschlag von 1 mm auf berußtem Papier gleichzeitig digital mit 92 Schritten aufgelöst und 32-mal pro Sekunde abgespeichert. Da die analoge Registrierung auf berußtem Papier sehr aufwändig ist, liegt der Schreibarm normalerweise abgehoben auf einem waagerechten Draht, d.h. er berührt nicht das Papier, aber die zugehörige Reibung übernimmt der Draht. Die beiden Beispiele von Erdbeben wurden leider nicht analog auf berußtem Papier registriert.

Die Funktionsweise von modernen Seismometern lässt sich so erklären (WIELANDT 1996): Wie bei den mechanischen Seismographen wird auch bei diesen Seismometern eine in einer Richtung frei bewegliche Masse angebracht. Jedoch wird nun nicht die Auslenkung an sich gemessen. Vielmehr misst ein elektronischer Wegsensor die Position der frei beweglichen Masse. Wenn sich diese scheinbar bewegt, wird unmittelbar darauf über verschiedene Bauteile ein Strom erzeugt, durch den ein elektrodynamischer Wandler die Kraft zur Kompensation der Masseauslenkung aufbringt (JÄCKEL, persönl. Mitteilung). Die frei bewegliche Masse schwingt dann also mit dem Gehäuse und der Erde mit. Die dafür benötigte Stromstärke ist proportional zur Kraft und somit zur Bodenbeschleunigung. Über einen Kondensator wird der Strom integriert, weil reine Beschleunigungswerte oft zur Übersteuerung neigen und damit zu ungenau sind. Am Kondensator misst man dann die Spannung und erhält Werte proportional zur Bodengeschwindigkeit. Aus diesem Grund zeigen die Seismogramme von GTTG Werte für die Bodengeschwindigkeit an.

Besonders interessant ist der Vergleich zwischen der Aufzeichnung der alten und neuen Geräte in Göttingen, die nur etwa 10 m voneinander entfernt sind.

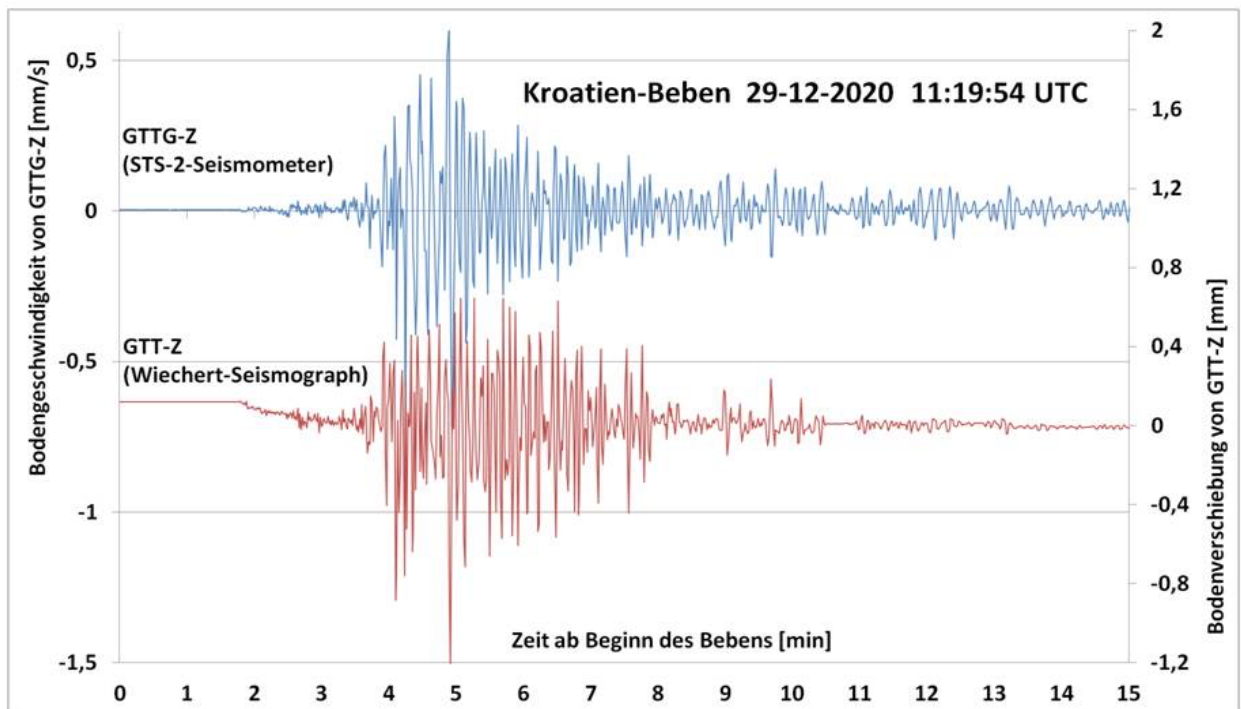


Abb. 3: Registrierung der Vertikalkomponente des modernen STS-2-Seismometers (oben) und des astatischen Vertikalseismographen von Wiechert (unten).

Die Abb. 3 zeigt sehr ähnliche Graphen, was für die damals und heute beeindruckende Präzision der Wiechert-Seismographen spricht. Bei den Oberflächenwellen erkennt man eine dominierende Periode von 8 s. Mit Hilfe des bei RITTER (2002) angegebenen Frequenzganges und der Hebelverstärkung lässt sich die zugehörige Bodenverschiebung bei GTT-Z abschätzen (rechte y-Achse). Der Amplitudenwert von etwa 0,5 mm stimmt gut mit dem Wert überein, den man aus einer Bodengeschwindigkeit von 0,4 mm/s bei GTTG-Z (linke y-Achse) ableiten kann und führt zu einer Erdbebenmagnitude von 6,5 (bei USGS-KR: 6,4).

### Was ist die Erdbebenmagnitude?

Um die Stärke und Größe von Erdbeben besser einschätzen zu können, hat Charles F. Richter 1935 die Erdbebenmagnitude entwickelt (SCHNEIDER 1975). Von Richter wurde sie als „der dekadische Logarithmus der maximalen seismischen Wellenamplitude [in  $\mu\text{m}$ ]“ (BOLT 1984) definiert. Sie war zunächst nur für Kalifornien gedacht, später wurde diese Klassifikation von Erdbeben weltweiter Standard. Wenn man die Stärke eines Erdbebens auf dieser sogenannten Richter-Skala berechnen wollte, musste man das Erdbeben aus näherer Entfernung mit einem bestimmten Seismographen messen. Das ist in der Praxis nicht umzusetzen. Um deshalb die Messung der Erdbebenmagnitude unabhängig von der Distanz

und des Aufzeichnungsgerätes zu ermöglichen, wurden im Laufe der Zeit viele Methoden entwickelt, die Magnitude zu bestimmen. Man hat durch Ausprobieren und Anpassen herausgefunden, wie man die Magnitude mithilfe der Messung von unterschiedlichen Arten von Erdbebenwellen, von Erdbeben in unterschiedlicher Tiefe und in unterschiedlicher Entfernung zur Messstation determinieren konnte. So habe ich auch die Magnitude der oben vorgestellten Erdbeben anhand von Daten der Göttinger Station GTTG berechnet. Wie das genau geht, steht in meiner Facharbeit.

In meiner Arbeit habe ich neben einer genaueren Erklärung der Magnitude auch das Verhalten von seismischen Wellen in Abhängigkeit von ihrer Distanz und die Herleitung ihrer Ausbreitungsgeschwindigkeit mithilfe der Tensorrechnung präsentiert.

Danksagung:

Die Autoren danken Martin-Ernst Kraus (Felix-Klein-Gymnasium Göttingen), Karl-Heinz Jäckel (GFZ Potsdam) und Wolfgang Brunk (Wiechert'sche Erdbebenwarte Göttingen) für die Unterstützung beim Anfertigen dieses Beitrags.

Quellen:

BEISERT, W., BRUNK, W. & WEDEKEN, U. (2020): 15 Jahre Verein „Wiechert'sche Erdbebenwarte Göttingen e.V.“. – DGG-Mitteilungen, 1/2020: 37–38.

BOLT, B. A. (1984): *Erdbeben - eine Einführung*. Springer-Verlag, Berlin

GFZ-EIDA, <http://eida.gfz-potsdam.de/webdc3/>, Deutsches GeoForschungszentrum, *Erdbebendaten*

GFZ-GIPP, <https://www.gfz-potsdam.de/en/section/geophysical-imaging/infrastructure/geophysical-instrument-pool-potsdam-gipp/software/gipptools/>, Deutsches GeoForschungszentrum, *GIPPTools*. Konvertierung vom miniSEED- in das ASCII-Format

RITTER, J. R. R. (2002): On the recording characteristics of the original Wiechert seismographs at Goettingen (Germany). *Journal of Seismology*, 6: 477–486.

SCHMITT, P. (2021): Auswertung seismischer Daten. Facharbeit im Seminarfach Physik, Göttingen, Felix-Klein-Gymnasium

SCHNEIDER, G. (1975): *Erdbeben*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart

USGS-KR, <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000d3zh/executive/>, United States Geological Survey, *Erdbebendaten Kroatien*

USGS-AL, <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000c9hg/executive/>, United States Geological Survey, *Erdbebendaten Alaska*

WEDEKEN, U., ZÜRN, V. & BRUNK, W. (2021): Wiechert'sche Erdbebenwarte Göttingen weiterhin aktiv. - DGG-Mitteilungen, 2/2021: 13-15.

WIELANDT, E. (1996): *Seismographien*. Wechselwirkungen: Jahrbuch aus Lehre und Forschung der Universität Stuttgart