

# Artikel von Jugend forscht

Die  
Schulseismographenstation  
am  
St. - Michael – Gymnasium  
Monschau

Bau und Organisation einer Schulseismographenstation  
mit digitaler Fernabfrage und Konstruktion eines  
Lehrseismographen



## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Bau und Organisation einer Schulseismographenstation mit digitaler Fernabfrage und Konstruktion eines Lehrseismographen	3
Kurzfassung	4
1. Einleitung	5
2. Bau und Organisation der Seismographenstation	6
2.1 Allgemeine Funktionsweise eines Seismographen	6
2.2 Bau und Organisation der Seismographenstation	7
2.3 Bau des Lehrseismographen	8
2.4 Justage des Lehrseismographen	9
2.5 Elektronik und Datenverarbeitung	11
2.5.1 Elektronische Komponenten	11
2.5.2 Datenverarbeitung	11
3. Experimentelle Ergebnisse	14
3.1 Ein typisches Seismogramm	14
3.2 Auswertung eines Seismogramms	15
3.2.1 Das Laufzeitdiagramm	15
3.2.2 Auswertung des Seismogramms	15
3.2.3 Anschluß der Station an die Gauß-Krüger-Weltkoordinaten	17
3.2.4 Zur Lokalisation des Aeaens	17
4. Schluß	18
5. Literaturverzeichnis	19

## **Bau und Organisation einer Schulseismographenstation mit digitaler Fernabfrage und Konstruktion eines Lehrseismographen**

**Sebastian Schork, Thomas Poschen, Bernd Naeth**  
Städt. St.-Michael-Gymnasium Monschau



Jugend forscht 1996

Landessieger Nordrhein-Westfalen im Bereich Geo- und Raumwissenschaften  
Bundeswettbewerb: 2.Preis im Bereich Geo- und Raumwissenschaften

## Kurzfassung

Die Beschäftigung mit Geophysik während einer Projektwoche im Sommer 1994 führte dazu, daß wir nicht nur an unserer Schule eine Erdbebenwarte errichteten, sondern jetzt auch den Prototypen eines „Lehrseismographen“ vorstellen können, der dazu dienen soll, dieses unserer Meinung nach sehr interessante Thema in den Physikunterricht zu bringen bzw. der Öffentlichkeit im wahren Sinne des Wortes „zugänglich“ zu machen. Denkbar wäre auch, daß Lehrmittelfirmen sich für unsere Arbeit interessieren.

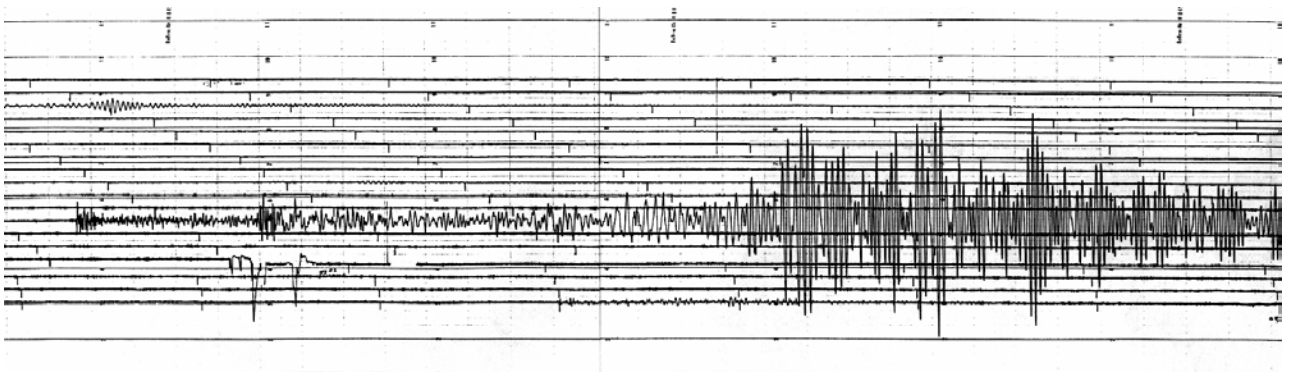
Während wir bei der Erdbebenwarte besonders auf die Möglichkeit Wert legten, sämtliche Daten der Station bis hin zur Fernwartung via Modem computergesteuert abrufen zu können, kam es uns bei der Konstruktion des Lehrseismographen vor allem darauf an, daß dieser auch problemlos mit handelsüblichen Teilen ohne Fräsmaschine und Drehbank von Interessenten nachgebaut werden kann. Trotzdem sollte das Gerät in Aufzeichnungsqualität, Transportabilität und Anschaulichkeit unseren Ansprüchen gerecht werden; das haben wir dadurch erreicht, indem wir uns beim Bau am Prinzip eines amerikanischen Hobby-Seismographen orientiert haben, an dem wir aber sehr viele Details wesentlich verbessert haben (z.B., daß ein Seismograph möglichst unmagnetisch sein sollte; gut definierte Justagemöglichkeiten). Hierbei konnten wir die Erfahrung nutzen, die wir beim Bau der beiden Seismographen der Station gewonnen hatten.

Mit jedem unserer Seismographen läßt sich sehr genau die Entfernung zum Bebenherd und die Herdzeit bestimmen, mit unserer dreikomponentigen Station läßt sich sogar der Bebenherd lokalisieren.

Als Beispiel für die Leistungsfähigkeit des Lehrseismographen kann die Auswertung der Registrierung des Kurilen-Bebens (vgl. u.) vom 3.12.1995 dienen. Mit Meßschieber und automatischer Zeitmarkensetzung (DCF-77) ergeben sich folgende Werte für das Beben:

Herd-Distanz:  $\Delta = 80,13^\circ$  entspr.  $D = 8910$  km  
 Herd-Zeit:  $t_H = 18\text{h } 01\text{min } 08\text{s}$   
 Magnitude:  $M_S = 8,2$

(zum Vergleich die offiziellen NEIS-Daten:  $\Delta = 79,64^\circ$  entspr.  $D = 8856\text{km}$ ;  $t_H = 18\text{h } 01\text{min } 09\text{s UTC}$ ;  $M_S = 8,0$ )



# 1. Einleitung

Die Projektwoche unserer Schule stand 1994 unter dem Thema "Lebendige Steine". Unsere Projektgruppe faßte das historisch gedachte Motto ganz konkret auf, um unter dem Namen "Wenn Steine sich bewegen" etwas über Erdbeben und Seismologie zu lernen: insbesondere sollte auch ein Seismograph gebaut werden.

Während der Vorbereitungsphase der Projektwoche (Sommerferien im vergangenen Jahr) erfuhren wir Hilfe von Professor Kertz in Braunschweig und Professor Harjes in Bochum und gelangten schließlich ans Institut für Geophysik der Universität Stuttgart und zu Professor Wielandt, wo wir an zwei Tagen einen Kompaktkurs in Seismologie und Seismometerbau erhielten. Vorher hatten wir schon von Professor Ahorner in der nahegelegenen Erdbebenstation in Bensberg Literatur zum Amateurseismographenbau erhalten. [1] - Auch durch den Besuch von Professor Wielandt zu Beginn der Projektwoche bei uns in Monschau bekamen wir praktisches und theoretisches Wissen vermittelt, das für unser Projekt nötig war. In der Zeit nach der Projektwoche, als wir drei uns entschlossen hatten, das Projekt fortzuführen und die Station auszubauen, um ein Erdbeben auch lokalisieren zu können, stand uns Professor Wielandt als "wissenschaftlicher Pate" zur Seite.

Günstige Voraussetzungen für unser Projekt fanden wir aber auch an unserem Gymnasium vor: eine gut ausgestattete Physiksammlung und eine vorteilhafte geographische Lage des Schulgebäudes (auf einem Felsen in der Nähe eines topographischen Punkts). Auch der Schulkeller war für den Bau einer Seismographenstation gut geeignet, weil er als Luftschutzbunker geplant war und daher massive Wände und ein starkes Fundament besitzt. Beim Bau des Ost-West-Seismographen gab es einen ersten Rückschlag, (vgl. Kap. 2.2).

Wir haben darüber hinaus von vielen Firmen und Institutionen unentgeltlich Material und Hilfe erhalten. Ganz besonders sind wir zu Dank verpflichtet den Firmen Baumarkt Thelen (Simmerath), Thyssen-Magnettechnik (Dortmund), Metallbau Poschen (Simmerath), Lackdraht Union (Sulingen), Steinmetzbetrieb Goffart (Simmerath), VEFF St.-Michael-Gymnasium (Monschau) und den mechanischen Werkstätten des III. Physikalischen Instituts der RWTH Aachen und der KfA Jülich.

Dennoch war der Aufbau der Station nicht nur Oberflächenpolitur der in der Projektwoche geleisteten Arbeit; dies gilt insbesondere für die Konzeption des mechanischen Aufbaus, den Bau der elektronischen Komponenten und das Erstellen der Software.

Die Frage danach, welchen neuen Beitrag unsere Arbeit leisten soll, kann man aus verschiedener Sicht beantworten:

- wir wollen mit unserer Arbeit und insbesondere mit dem Bau des Lehrseismographen zeigen, daß es möglich ist, nur unter Verwendung gängiger Hilfsmittel (Bohrmaschine, Kreissäge) und im Handel erhältlicher Bauteile, einen funktionstüchtigen transportablen Seismographen zu bauen. - Damit ist dann die Voraussetzung geschaffen, an der Schule Themen aus dem Bereich der Erdbebenkunde anschaulich behandeln zu können.

- Einen wirklich neuen Beitrag zur aktuellen wissenschaftlichen Forschung im Bereich der Seismologie wird unsere Arbeit nicht leisten können, auch deswegen, weil dazu keine Zeit blieb: Infrastruktur (Gießen von Betonquadern u.a.m.) und Apparatur haben wir erst selber bauen müssen. Ein neues Detail könnte die dynamische Bestimmung der Spulenkonstanten mit einer Hallsonde sein.

- Durch den Datenfernübertragungszugang ist es jedem möglich, auf die von uns gemessenen seismographischen Daten zuzugreifen, wobei die Messung nicht unterbrochen wird.

Unsere Arbeit hat uns auch bewußt gemacht, wie wenig man über das Eintreten und insbesondere über die Vorhersage von Erdbeben weiß [2] und wie groß in diesem Zusammenhang die politische Verantwortung ist: uns ist nicht bekannt, welche Berater der türkische Gouverneur hatte, als er im Oktober dieses Jahres die Menschen, die

nach einem Erdbeben ihre Häuser in der Furcht vor einem noch stärkeren Beben verlassen hatten, dazu aufforderte, ruhig in ihre Wohnungen zurückzukehren. Es folgte dann das schwere Beben im Gebiet von Dinar, das viele Menschen das Leben kostete: "Er hat uns gesagt, daß die Gefahr vorbei ist, weil er uns keine Zelte geben wollte." [3]

## 2. Bau und Organisation der Seismographenstation

### 2.1 Allgemeine Funktionsweise eines Seismographen

Um ein Erdbeben aufzeichnen zu können, braucht man eigentlich nur einen "absolut ruhenden Punkt", welcher sich bei einem Erdbeben nicht mit der Erde mitbewegt. An diesem Punkt würde man eine Induktionsspule befestigen. Ferner braucht man einen Magneten, der fest auf der Erde, nahe der Spule sitzt. Bei einem Erdbeben wird sich dann der Magnet relativ zur Spule bewegen und in ihr eine elektrische Spannung induzieren, die man messen kann. Leider gibt es einen solchen "Archimedischen Punkt" nicht und damit sind wir bereits beim Prinzip unseres Seismographen: die Spule und eine Masse wird an einem Pendel befestigt, welches eine sehr lange Schwingungsdauer hat und aufgrund seiner Trägheit den Erdbebenwellen immer hinterherhinkt. Mit einem Fadenpendel läßt sich eine große Schwingungsdauer nur schwer realisieren: z.B. müßte ein Fadenpendel mit 20s Schwingungsdauer länger als 100m sein. Deshalb haben wir uns für ein Horizontalpendel nach dem "Gartentorprinzip" entschieden, mit dem leicht eine Schwingungsdauer von 20s erreicht werden kann. [4]

Ein seismographisches Pendel muß beachtlich gedämpft sein, denn ungedämpft würde das Pendel nach einem Erdstoß ungehindert weiterschwingen, wodurch der weitere Verlauf des Bebens "verschluckt" würde. Bei einer geeigneten Dämpfung ist das Verhältnis zweier aufeinanderfolgender Maximalauslenkungen etwa 23:1, da ab dieser Dämpfung das Pendel nicht mehr in Resonanz geraten kann.

Bei einem Fernbeben gehen die Erdbebenwellen einerseits direkt durch die Erde hindurch, andererseits pflanzen sie sich an der Erdoberfläche fort; währenddessen wird das am Erdbebenherd sehr kurze Signal (typisch <40 Sek.) zeitlich gespreizt: das Erdbebensignal kann dann - je nach Entfernung - beim Empfänger sogar länger als eine Stunde dauern. Eine geeignete Schwingungsdauer des Pendels für Fernbeben liegt bei mindestens 20s.

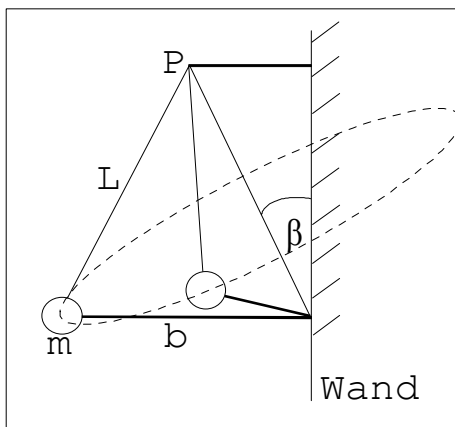


Abbildung 2.1 zeigt den prinzipiellen Aufbau unseres Horizontalseismographen: Der Pendelkörper m wird nach oben hin von einem im Punkt P an der Hauswand befestigten Stahldraht der Länge L gehalten. Zur Seite hin ist der Pendelkörper an einer Stange der Länge b befestigt, deren anderes Ende drehbar nahe an der Hauswand gelagert ist. Durch Änderung des Abstandes von P zur Wand ändert sich der Neigungswinkel  $\beta$  und somit die Schwingungsdauer des Pendels: Für  $\beta=0$  befindet sich das Pendel im indifferenten Gleichgewicht mit unendlich großer Schwingungsdauer.

Abb. 2.1: Prinzip des Seismographen

Für die Schwingungsdauer des Seismographen gilt: 
$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{b}{g \cdot \tan \beta}}$$

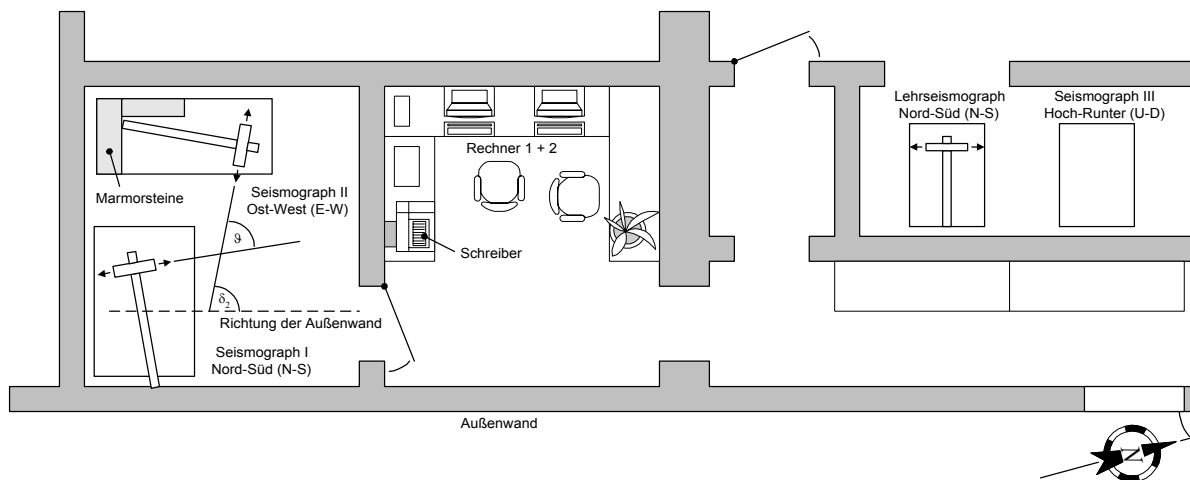
$g \cdot \tan \beta$  = reduzierte Erdbeschleunigung (Astasierung)

Bei unserem Pendel ist  $b \approx 0,5\text{m}$  und  $\beta \approx 0,24^\circ$ .

## 2.2 Bau und Organisation der Seismographenstation

Zur Bestimmung von Herdzeit (Ausbruch des Bebens), Herdentfernung und der Stärke des Bebens reicht ein Seismograph aus. Für die Lokalisation eines Bebens mit Hilfe einer einzigen Seismographenstation benötigt man die Aufzeichnung der Erdschwingung in allen drei Raumrichtungen: dazu sind zwei Horizontalseismographen (für Nord-Süd- bzw. Ost-West-Bewegung) und ein Z-Seismograph (Bodenbewegung in vertikaler Richtung) nötig.

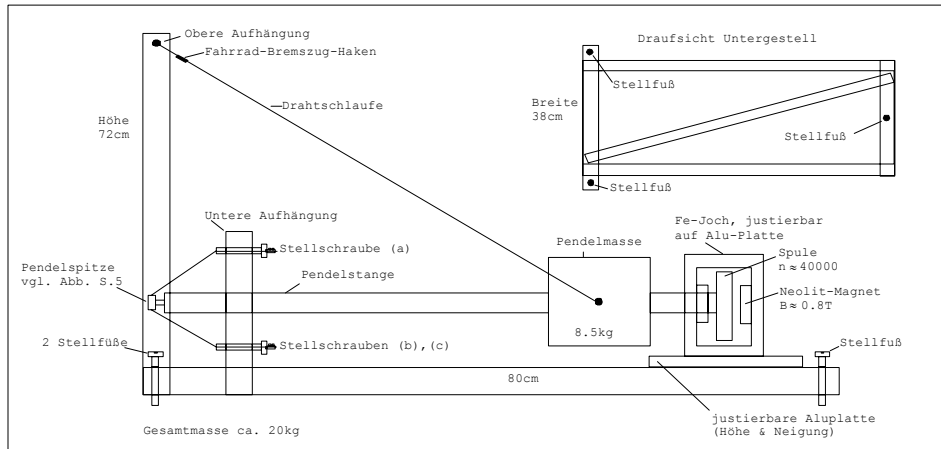
Bei unserer Station im Keller des Gymnasiums, der als Luftschutzbunker geplant wurde, ergaben sich beste Voraussetzungen für das Aufstellen der Seismographen - massive Wände stehen auf einem sehr stabilen Fundament, das direkt auf Fels (rheinisches Schiefergebirge) gründet. -Zur Befestigung des Magneten mit der Erde haben wir zwei schwere Betonklötze fest mit dem Boden vergossen. Da wir seinerzeit ziemliche Laien auf dem Gebiet des Seismographenbaus waren, war dies auch vorteilhaft, da die Seismographen dann nicht auf dem Boden, sondern in angenehmer Arbeitshöhe standen. Die Aufhängungen des Nord-Süd Seismographen wurden an einer Außenwand des Kellers befestigt, hinter der sich ein Erdwall befindet. Der Ost-West Seismograph wurde an einer inneren Wand aufgehängt. Leider beobachteten wir starke Störsignale in den Aufzeichnungen dieses Seismographen, die durch windbedingte Gebäudeschwankungen entstanden. Diese Störung haben wir dadurch behoben, indem wir die Aufhängung von der Wand entkoppelten: Auf den Betonsockel wurden hochkant zwei quaderförmige Marmorsteine gestellt; an dem größeren wurden die Aufhängungen erneut angebracht, (vgl. Abb. 2.2). Beim Lehrseismographen ergeben sich diese Probleme nicht, da dieser nur an den Boden gekoppelt ist.



**Abb. 2.2: Raumplan der Seismographenstation im St.-Michael-Gymnasium und ihre geographische Lage. Die Abweichungen der Schwingungsrichtungen von der Außenmauerriechtung sind übertrieben dargestellt. Dank der Unterstützung durch die Landvermesser Herr Mertens (Monschau-Konzen) und Herr Honke (Fa. Tufthas und Meyer, Bochum) ist  $\gamma$  bekannt ( $\gamma=8,38^\circ$ ). Über Triangulation haben wir  $\varrho$  und  $\delta_2$  bestimmt,  $\varrho=89,7^\circ$  und  $\delta_2=90,4^\circ$  (vgl. Kap. 3.2.3)**

### 2.3 Bau des Lehrseismographen

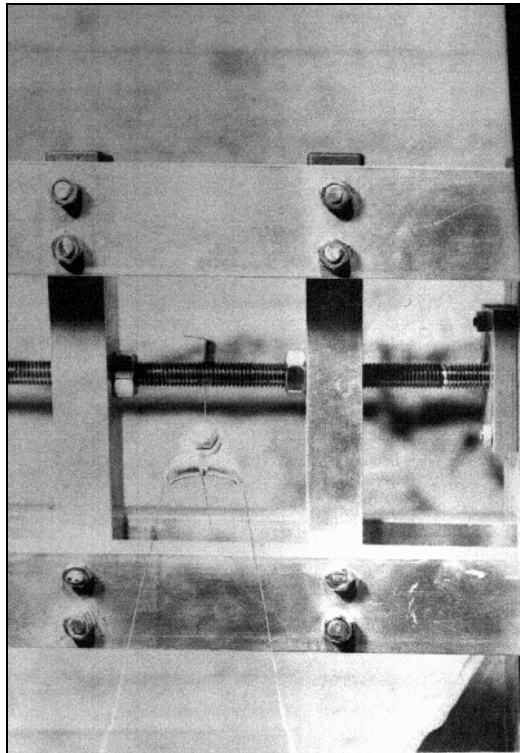
Beim Bau des Lehrseismographen (vgl. Abb. 2.3.1) haben wir uns für ein Gestell aus Aluminiumprofilen entschieden, weil Aluminium unempfindlich gegen Luftfeuchtigkeit, nicht magnetisch und leicht zu verarbeiten ist.



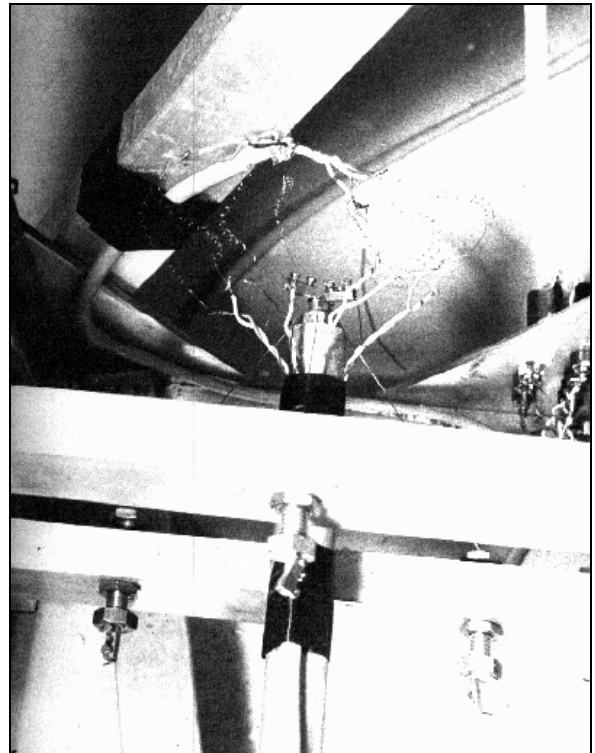
**Abb. 2.3.1: Prinzip-skizze des Lehrseismographen (Seitenansicht ohne Seitenverstreibungen)**

Für die obere Aufhängung haben wir eine VA-Gewindestange benutzt. In der plangefeilten Mitte wurde für den 0,4 mm starken Draht eine Bohrung

eingebraucht, die auf einer Seite nur 0,41 mm Durchmesser hat. Diese Stange läßt sich mit Stellschrauben nach links und rechts verschieben und Muttern fixieren. Ein Ende des etwa 3 cm langen Drahtstücks ist mit einer Lüsterklemme fixiert. Das andere Ende ist an einem Fahrrad-Bremszug-Haken befestigt, in den die Drahtschleife eingehängt wird, an deren Enden der Pendelkörper befestigt ist.



**Foto links:  
Obere Aufhängung**

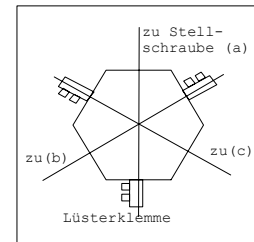


**Foto rechts:  
Untere Aufhängung  
Blick: schräg von oben**

Den Pendelkörper haben wir aus Beton gegossen, wobei in die Holzverschalung ein Kupferrohr eingearbeitet wurde, dessen Innendurchmesser dem Aussendurchmesser der Pendelstange entspricht; das Durchstecken der Pendelstange war somit nach Aushärten des Betons kein Problem. In den beiden Außenseiten des Betonwürfels sitzen die beiden Befestigungen der Drahtschleife.



Als *Pendelspitze* dient eine Sechskantschraube, deren Kopf so durchbohrt wurde, daß drei Drähte im Winkel von  $120^\circ$  zueinander, wie in der Abbildung, hindurchgesteckt werden können. Diese drei Drähte sind mittels der zentrisch durchbohrten Stellschrauben (a),(b),(c) (vgl. Abb. 2.3.1) fixiert.



Der *Spulenkörper* wurde aus Plexiglas und einem Stück Kunststoffrohr gefertigt. Durch seitliches Einklemmen des Spulenkörpers in zwei entsprechende Spanplattenteile wurde beim Wickeln der Spule ein Ausbeulen des Spulenkörpers vermieden. Zum Wickeln des 0.16mm starken Lackdrahtes wurde der Spulenkörper mitsamt den Spanplatten mittels einer Gewindestange in die Bohrmaschine eingespannt. Um die große, innere Spule haben wir eine kleine äußere Spule gewickelt; bei späteren Messungen läßt sich das Pendel über diese Spule anstoßen, um das induzierte Signal davon unabhängig mit der inneren Spule registrieren zu können.

Für die Seismographen der Station konnten wir Hufeisenmagnete verwenden, die uns von Herrn Dr. Dittmer (Philips, Aachen) geschenkt wurden. Da starke Hufeisenmagnete nicht mehr hergestellt werden, haben wir zwei handelsübliche *Hochleistungs-Permanentmagnete* polrichtig auf die Innenseiten eines Jochs aus Eisen aufgeklebt. Das geschlossene Joch beschränkt das Magnetfeld nahezu auf den Bereich, in dem sich die Spule befindet.

An die Pendelstange wurde in Spulennähe eine *Hallsonde* montiert, die zur Kontrolle der Ruheposition und zur dynamischen Bestimmung der Spulenkonstante verwendet wird.

Das Aluminiumgestell läßt sich mit drei *Stellfüßen* aus Feingewinde einrichten.

Die acht Signalkabel (zwei für die innere, zwei für die äußere Spule, vier für die Hallsonde) müssen von der Spule zu den Buchsen am Gestell geführt werden. Dünne *Drahtfederchen* vermeiden eine starre Verbindung zwischen Pendel und Gestell, (vgl. Foto, untere Aufhängung).

Da der Seismograph sehr empfindlich auf Luftzirkulation reagiert, haben wir als *Abschirmung* eine eng anliegende Kiste aus 50mm starkem Styropor gefertigt.

## 2.4 Justage des Lehrseismographen

Mit den Stellfüßen läßt sich der Seismograph kippen, wodurch sich der Neigungswinkel  $\alpha$  (vgl. Abb.2.1) und somit auch die *Schwingungsdauer* einstellen läßt. Von einer allzulangen Schwingungsdauer ist abzuraten, da deren zeitliche Konstanz unserer Erfahrung nach nicht mehr garantiert ist, 20-23s reichen völlig aus.

Durch Verschieben der oberen Aufhängung nach links oder rechts läßt sich die *Ruhelage des Pendels* in Mittelposition bringen.

Der *Magnet* sollte so stehen, daß das Pendel frei schwingen kann und sich nicht verkantet. Zusätzlich sollte die Spule in der Nullposition soweit in den Magneten eintauchen, daß der Abstand zwischen Pendelstange und Magnet nur noch 0.5-1cm beträgt, damit eine möglichst große Induktionswirkung erzielt wird.

Zur Auslenkung des Pendels geben wir über eine Kondensatorentladung auf die äußere Hilfsspule einen Spannungspuls. Parallel zur inneren Induktionsspule haben wir einen regelbaren Widerstand angeschlossen, mit dem wir die gesuchte *Dämpfung* von nahezu 23:1 eingestellt haben. Später wurde dieser Widerstand durch einen Festwiderstand ersetzt.

Zur *statischen Bestimmung der Spulenkonstante* benutzen wir eine Stromwaage. Zunächst wird die Hallspannung bei Nullposition des Pendels abgelesen. Mittig zwischen den Außenplatten des Spulenkörpers wird dann ein feiner Nylonfaden befestigt,

welcher über eine fein gelagerte Rolle gelegt wird und an dessen anderem Ende eine Waagschale hängt. Die Rolle ist so zu plazieren, daß die Spule von einem auf die Waagschale gelegten Gewicht senkrecht zur Pendelstange in den Magnet gezogen wird. Durch die Induktionsspule wird nun ein Strom veränderlicher Stärke geschickt, der so eingestellt wird, daß das Pendel in Nullposition gelangt. - Die statische Bestimmung der Spulenkonstante  $S$  nutzt die Beziehung

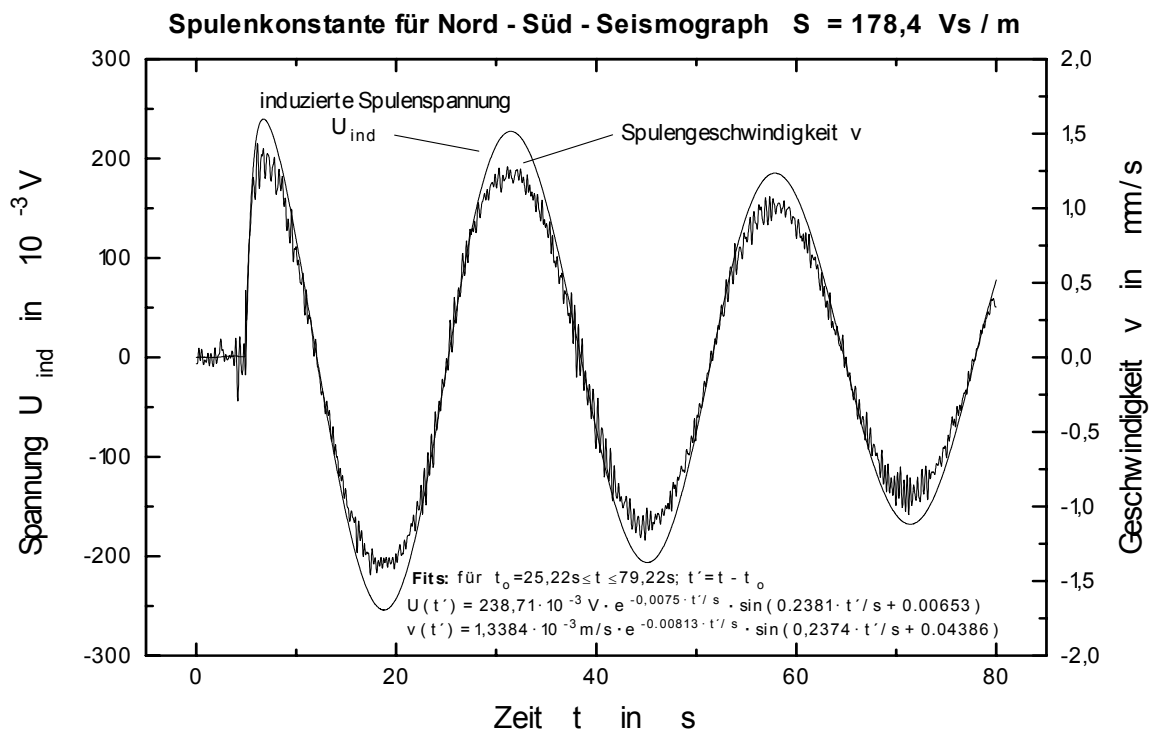
$$\text{Stromstärke } I \cdot \text{Spannung } U \cdot \text{Zeit } t = \text{Arbeit } W = \text{Kraft } F \cdot \text{Weg } s$$

aus; hieraus folgt:

$$\text{Kraft } F / \text{Stromstärke } I = \text{Spulenkonstante } S = \text{Spannung } U / \text{Geschw. } v.$$

$$\text{Geschwindigkeit } v = \text{Weg } s / \text{Zeit } t$$

Die linke Seite der Gleichungskette für  $S$  entspricht der Stromwaage, die rechte Seite einer *dynamischen Bestimmung der Spulenkonstante* bzw. der Messung des Bebensignals durch Induktion. Für den Nord-Süd-Seismograph haben wir die Spulenkonstante auch dynamisch bestimmt: Die Hallspannung wurde in Abhängigkeit der Pendelauslenkung gemessen und in einem Schwingversuch mit schwacher Dämpfung wurden Induktionsspannung und Hallspannung gleichzeitig gemessen. Die Hallspannung kann in die Auslenkung umgerechnet werden und die Division von Induktionssignal und Geschwindigkeitssignal ergibt die Spulenkonstante. (Vgl. Abb. 2.4)



**Abb. 2.4: Diagramm zur dynamischen Bestimmung der Spulenkonstante**

## 2.5 Elektronik und Datenverarbeitung

### 2.5.1 Elektronische Komponenten

Bei der unverarbeiteten Aufzeichnung des Spulensignals ergeben sich zwei Probleme: Erstens ist das Signal bei den für Fernbeben typischen Bodenbewegungen (einige  $\mu\text{m}$ ) sehr schwach, daher ist eine hohe Verstärkung notwendig; zweitens überlagern Störsignale (z.B. von vorbeifahrenden Fahrzeugen, elektromagnetischen Feldern) die Messung, die oft eine größere Amplitude haben als das eigentliche Erdbebensignal. Praktischerweise liegen diese frequenzmäßig so weit vom Erdbebensignal entfernt, daß es genügt, alle hohen Frequenzen ( $>0.33\text{ Hz}$ ) herauszufiltern.

Verstärker und Tiefpaßfilter sind in einer Schaltung untergebracht (siehe Abb. 2.8, S.11), die Idee für die Realisierung stammt von Prof. Wieland [5]. Durch die Wahl der Widerstände  $R_2, R_3, R_4$  und  $R_5$  können Verstärkungsfaktor  $k_V$  bzw. Filtergrenzfrequenz  $f_{0F}$  mit

$$k_V = \frac{R_2 + R_3}{R_2} \quad f_{0F} = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_4 C_3 R_5 C_4}}$$

nahezu beliebig gewählt werden. Der Ausgang des Filters kann direkt an einen Schreiber angeschlossen werden. Wie allgemein üblich wird das Signal auf Endlospapier aufgezeichnet, wobei ein separater Rampengenerator für den nötigen Vorschub sorgt und ein Zeitmarkengeber alle 10 min. eine Marke setzt.

### 2.5.2 Datenverarbeitung

Die Aufzeichnung auf Papier hat jedoch eine sehr geringe Auflösung, abgesehen davon, daß die Auswertung nicht besonders komfortabel ist; hinzu kommen noch die üblichen Nachteile, die sich bei der Aufzeichnung von analogen Signalen ergeben (z.B. Kopierverlust).

Will man ein solches Signal zusätzlich mit Mitteln der modernen Datenfernübertragung verbreiten, hat man keine andere Wahl, als das analoge Signal zu digitalisieren ("samplen").

Ein den Aufwand rechtfertigendes Ergebnis erreicht man allerdings erst ab einer Samplefrequenz von ca. 10Hz und einer Auflösung von  $\geq 12$  Bit. Bei drei Kanälen ergibt sich daraus eine Datenmenge von

$$\begin{aligned} & 3 \quad (\text{drei Seismographen}) \\ & \cdot 2 \quad (16 \text{ Bit} = 2 \text{ Byte}) \\ & \cdot 9,1 \quad (\text{Samplefrequenz in Hz; dieser Wert ergibt sich aus einer} \\ & \quad \text{Besonderheit in der PC-Hardware}) \\ & \cdot 86400 \quad (\text{So viele Sekunden hat der Tag}) \\ & = 4717440 \text{ Byte pro Tag.} \end{aligned}$$

Durch Komprimierung reduziert sich die Datenmenge ungefähr auf die Hälfte; trotzdem will eine Meßspur von 821 MByte jährlich gesichert und verwaltet werden.

Hinzu kommen noch die Meßwerte der Hall-Sonden (Kontrolle der Ruhelage), die zwar nicht abgespeichert, aber zumindest irgendwie angezeigt werden müssen, sowie das Zeitsignal des DCF-77-Empfängers, das gleichzeitig mit dem Spulensignal aufgenommen wird und u.a. die Rampe des Schreibers steuert.

Auch die Konstanz der Sampling-Rate ist ein großes Problem: Werden außer der Meßwernerfassung noch andere Aufgaben ausgeführt (z.B. die Datensicherung auf Band), ist während dieser Zeit keine Aufzeichnung möglich.

Daher arbeiten wir mit zwei Rechnern. Der eine zeichnet auf und überträgt die gesammelten Daten einmal täglich zum zweiten Rechner, wobei die Messung nicht unterbrochen werden muß. Der zweite Rechner stellt während der restlichen Zeit die Schnittstelle zur Außenwelt dar: Über ein Modem kann man auf sämtliche Daten der Station zugreifen und sogar das aktuelle Seismographensignal auf den eigenen Bildschirm holen; man kann ein Erdbeben ggf. "live" verfolgen. Außerdem ist in

begrenztem Maße eine Fernwartung möglich: Man kann die Pendel anstoßen und kontrollieren, ob diese frei schwingen, sich "verhakt" haben oder in Anschlagposition ruhen.

Wir verwenden folgende Hardware (siehe Abb. 2.5):

Rechner 1:	286AT12
Rechner 2:	386SX16
Meßkarte:	Die Meßkarte kann nicht nur analoge Daten digitalisieren, sie hat auch 16 digitale Ein- und Ausgänge, die durch den DCF-77-Empfänger und die Relaiskarte belegt sind.
DCF-77-Empfänger:	Dieser empfängt das Weltzeit-Signal, gesteuert von der "Atom-Uhr" der PTB in Braunschweig. Dadurch ist eine exakte Zeitskalierung der Meßspur möglich.
Relaiskarte:	Durch ein Computersignal kann an die Auslenkspulen der Pendel (vgl. Kap. 2.3) ein Spannungsimpuls angelegt werden, das diese auslenkt.
Streamer:	Der Streamer sichert und lädt die Daten auf/von Band. Ein Band hat eine Kapazität von ca. 180 MByte - genug für zwei Monate ununterbrochener Aufzeichnung.
Modem:	Über das Modem kann jeder, der ebenfalls über ein solches Gerät und eine Zugangsberechtigung verfügt, in Kontakt mit der Station treten.

Die Rechner stammen aus Ausschußbeständen des Aachener Klinikums und des Umweltamtes Aachen. Relaiskarte, Verstärker/Filter, Netzteile und Verkabelung stammen aus eigener Produktion.

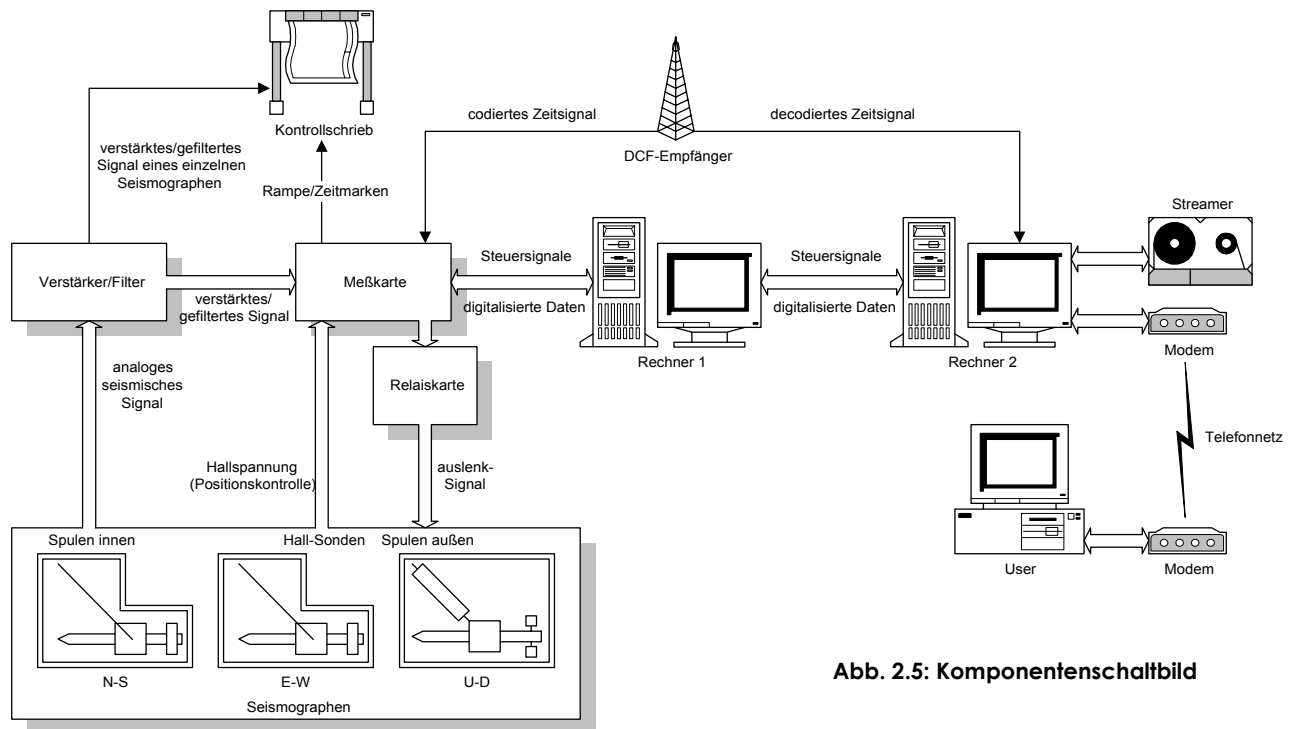
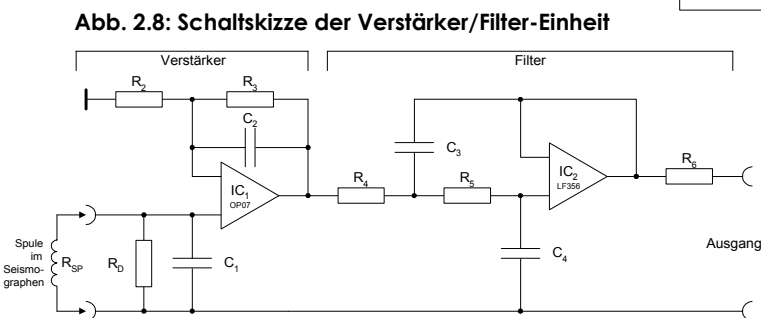
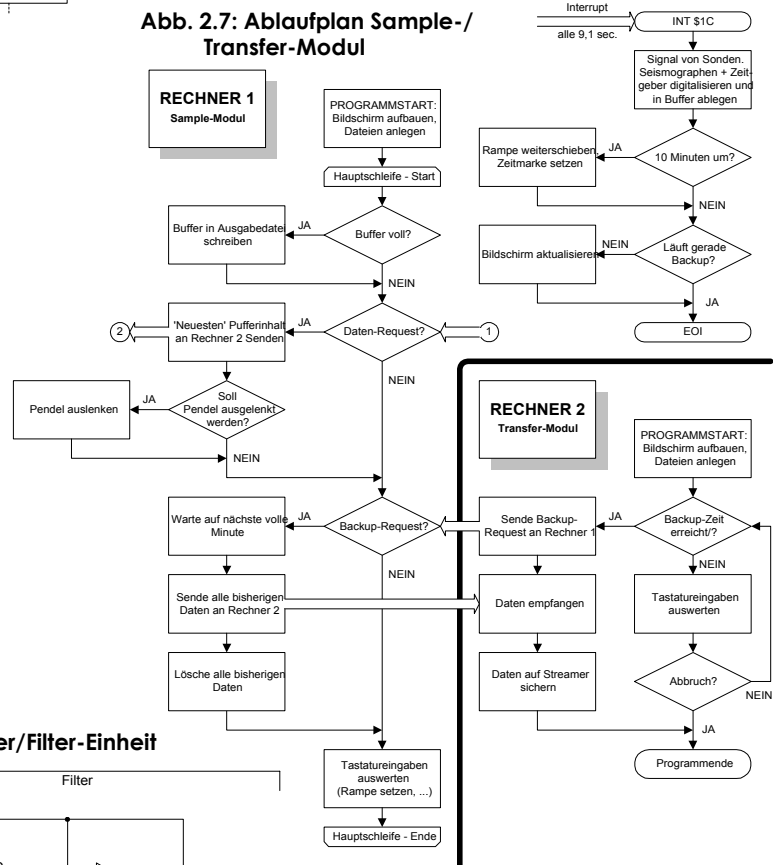
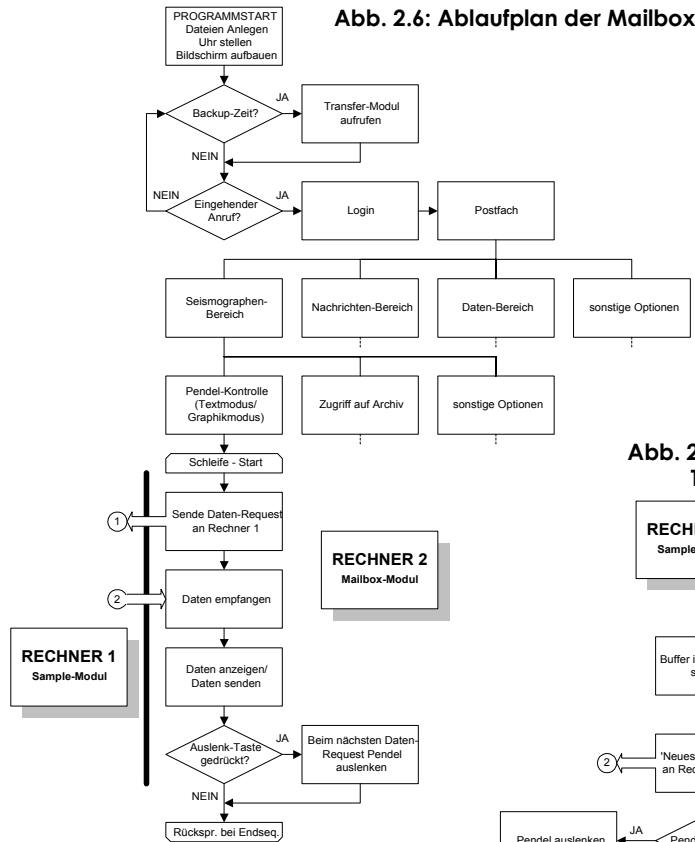


Abb. 2.5: Komponentenschaltbild

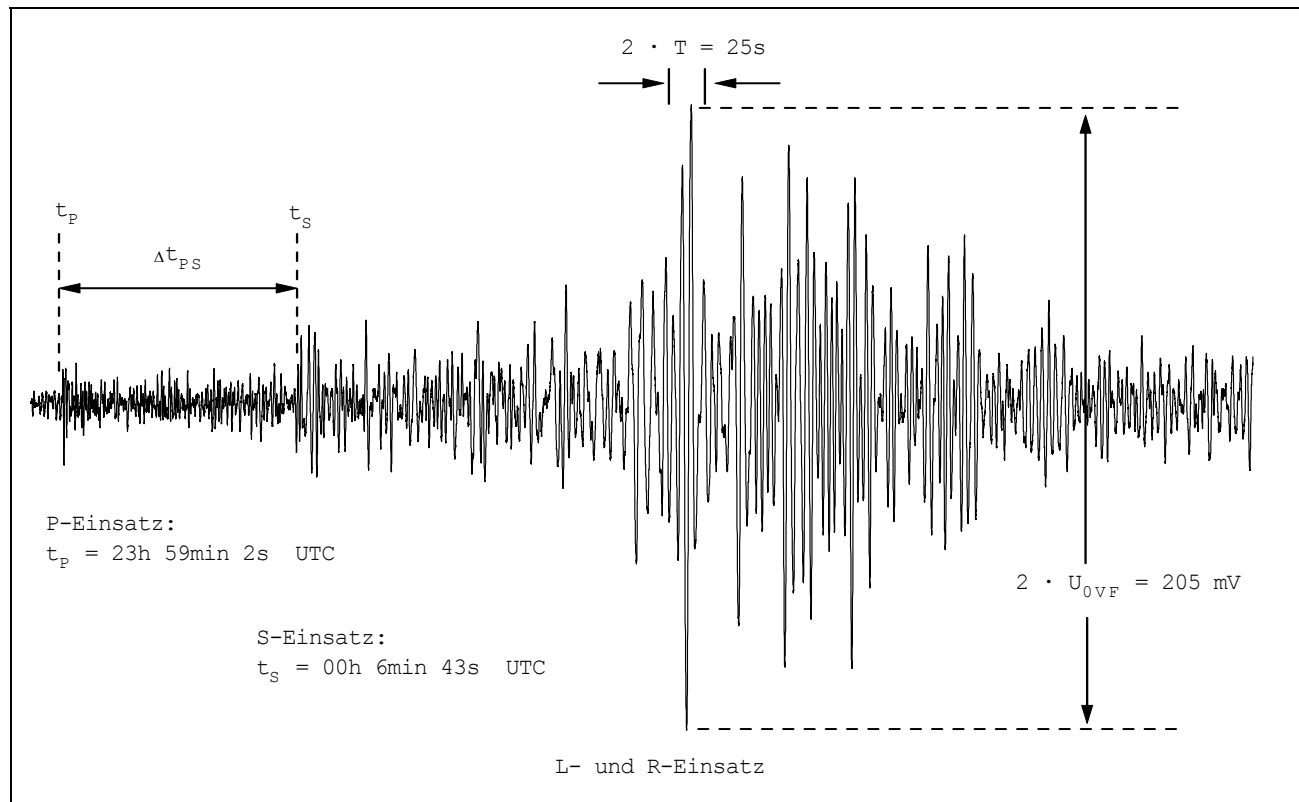
Es wurden fünf Programme geschrieben (Bis jetzt ca. 5000 Schritte in Borland-Pascal/ASM, siehe auch Abb. 2.6/2.7:

- Das Sampling-Modul: Kümmert sich um die Datenerfassung und steuert die Rampe für die Papieraufzeichnung.
- Das "Outpost"-Modul: Eine Mailbox, über die der Anrufer mit dem System kommuniziert. Ruft das Transfer-Modul auf.
- Das Transfer-Modul: Sorgt für das tägliche Backup.
- Der Viewer: Ein mini-Auswertungsprogramm.
- Das Kontroll-Modul: Dieses Modul macht die "live"-Daten auf entferntem Rechner sichtbar.



### 3. Experimentelle Ergebnisse

#### 3.1 Ein typisches Seismogramm



**Abb. 3.1: Erdbeben nahe der Insel Ascension am 18.02.1996, registriert mit EW - Seismograph**

Dies ist ein Seismogramm, bei dem man sehr gut das Eintreffen der verschiedenen Wellenfronten (sog. "Einsätze") eines Erdbebensignals feststellen kann. Die kleineren Auslenkungen vor Beginn des eigentlichen Bebensignals zeigen die "Meeresmikroseismik" (Auftreffen großer Wassermassen auf den Kontinent bzw. großflächige Druckschwankungen am Meeresboden), aus deren Amplitude man sehen kann, wie ruhig, bzw. unruhig das Meer (Nordsee) ist. Da in unseren Breiten Wetteränderungen meistens von der Seeseite her kommen, kann man damit eine grobe Wettervorhersage machen: heute ruhiges Signal, ruhige See - am nächsten Tag schönes Wetter. Diese Prognose haben wir über einen längeren Zeitraum getestet und sie fast immer bestätigt gefunden.

Bei einem Erdbebensignal unterscheidet man zwischen Raumwellen und Oberflächenwellen. Die erste große Auslenkung des Bebensignals stellt das Eintreffen der sog. P-Welle (Primär-Welle) dar. Als Longitudinal-Welle (Kompressions-Welle) trifft sie als erste an der Meßstation ein: diese Welle geht auf direktem Weg durch die Erde (Raumwelle) und verhält sich ähnlich wie eine Schallwelle. Die S-Welle (Sekundär-Welle), welche kurze Zeit später eintrifft, kommt auch auf direktem Weg (ebenfalls Raumwelle), hat jedoch eine längere Laufzeit, da sie eine transversale Welle (Scherwelle) ist. Andere deutlich zu sehenden Einsätze sind für unsere einfache Auswertung uninteressant, haben jedoch alle ihre spezielle Bezeichnung und sind für einen Seismologen auch von Bedeutung; es sind am Erdmantel oder Erdkern reflektierte P- und S-Wellen. Bei den später eintreffenden Oberflächenwellen unterscheidet man zwischen der Love-Welle und der Rayleigh-Welle, beide nach ihren Entdeckern benannt. Diese Wellen haben die größten Amplituden (und die größten Auswirkungen auf Bauwerke, die sie zu Resonanzschwingungen anregen), weil Oberflächenwellen ihre Energie im Gegensatz zu den Raumwellen nur in zwei Raumdimensionen abstrahlen können (in Erdkruste eingesperrt).

## 3.2 Auswertung eines Seismogramms

### 3.2.1 Das Laufzeitdiagramm

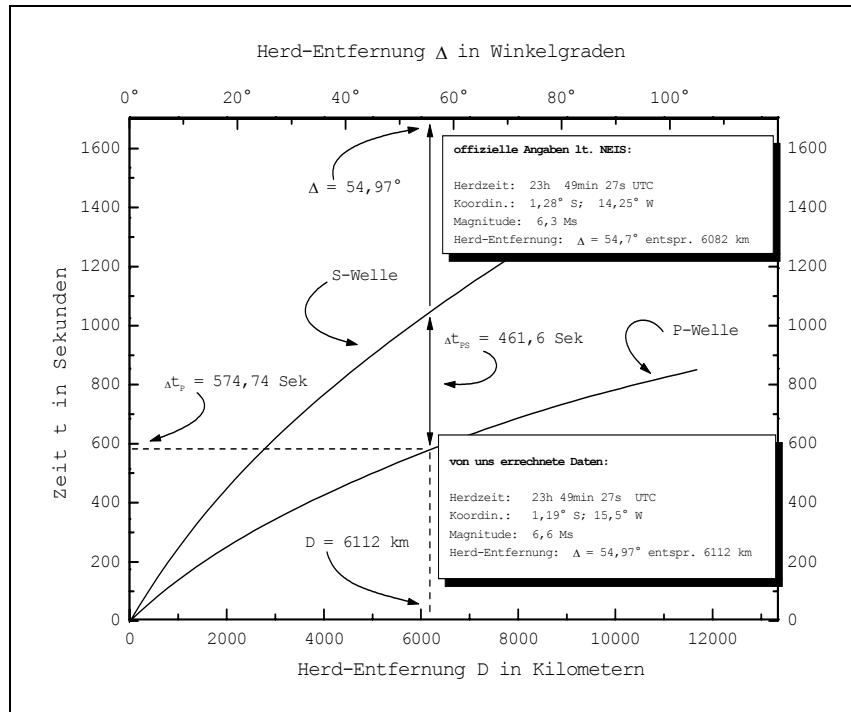


Abb 3.2.1: Laufzeitdiagramm mit Daten des Ascension-Bebens vom 18.02.1996

Auf der X-Achse des Laufzeitdiagramms ist die Herd-Entfernung aufgetragen. Die Angabe  $\Delta$  in Winkelgraden ist bei Seismologen üblich und auch einsichtig, da die Erde eine Kugel ist; die Angabe  $D$  in Kilometern ist dagegen für den Laien verständlicher, hierbei ist  $D = r \cdot \Delta_{\text{rad}}$  ( $r = \text{Erdradius}$ ). Auf der Y-Achse ist die Laufzeit in Sekunden angegeben. Wir sehen die Laufzeitkurven für P- und S-Welle. Die Daten für die Laufzeitkurven stammen von Jeffreys und Bullen [6]. Mit Hilfe dieses Diagramm bestimmt man die Herd-Entfernung und die Herd-Zeit.

### 3.2.2 Auswertung des Seismogramms

Zuerst bestimmt man aus dem Streamer-Record mit Hilfe des selbstgeschriebenen Viewer (vgl. Kap. 2.5) die genauen Einsatzzeitpunkte von P- und S-Welle aus allen drei Seismogrammen und mittelt jeweils. Beim Ascension Seismogramm gilt für den P-Wellen Einsatz  $t_P=23:59:02$  Uhr, und für den S-Wellen Einsatz  $t_S=00:06:43$  Uhr, (Zeitangaben in UTC). Die Differenzzeit zwischen P- und S-Welleneinsatz  $\Delta t_{PS}=7,68$  Minuten paßt man nun zwischen beide Laufzeitkurven ein und erhält so die Herdentfernung  $\Delta=54,97^\circ$  oder in Kilometer umgerechnet  $D=6112 \text{ km}$ . Gleichzeitig kann man auch die Laufzeit  $\Delta t_P$  der P-Welle ablesen, nämlich  $\Delta t_P=574,74$  Sekunden. Zieht man nun vom P-Wellen-Einsatz  $t_P$  an der Station diese Laufzeit ab, bekommt man die genaue Herd-Zeit,  $t_H=23:49:27$  Uhr. (NEIS-Daten:  $\Delta=54,71^\circ$ ;  $t_H=23:49:27$  Uhr)

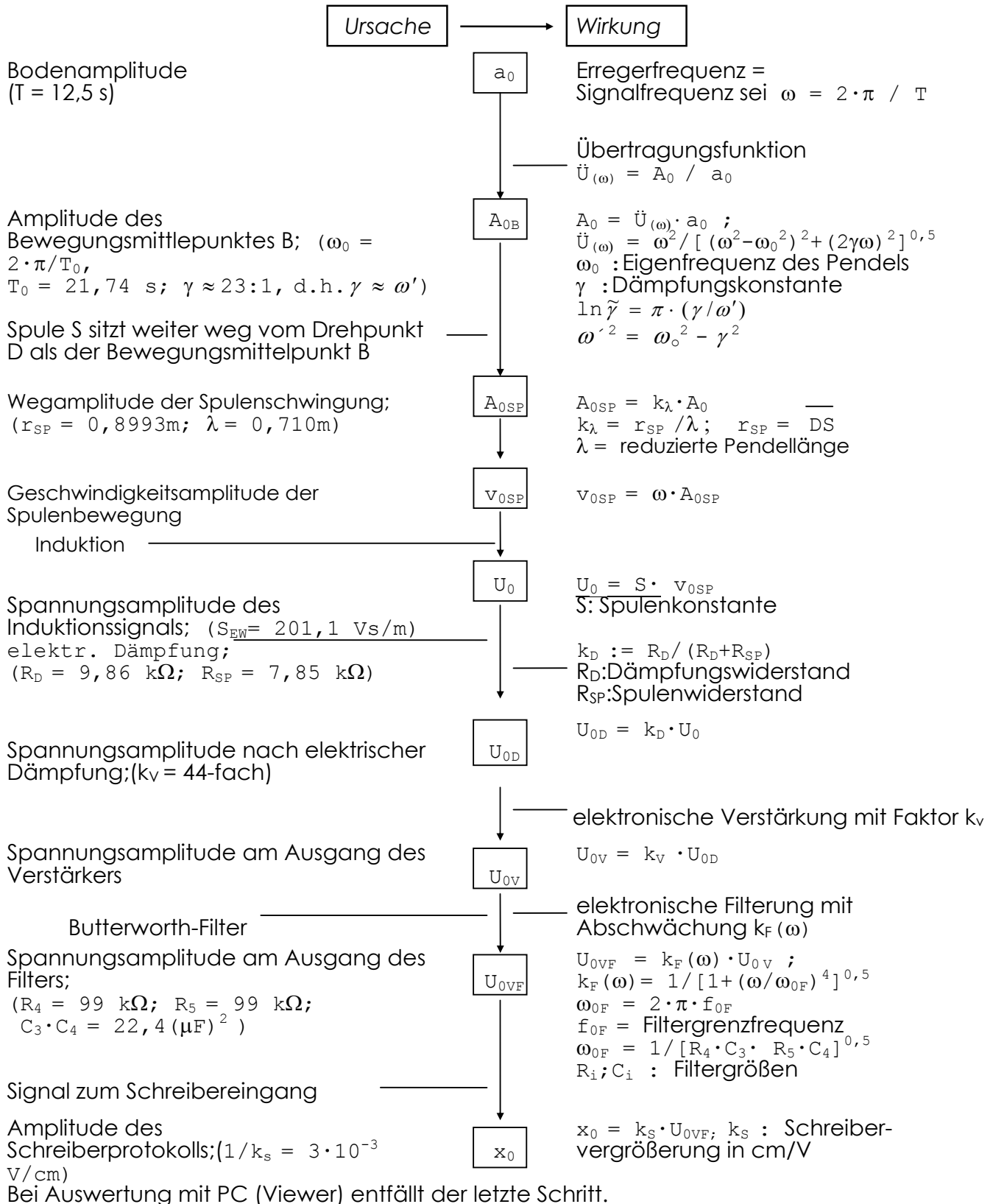
Zur Bestimmung der Magnitude wird nach Definition der Ms-Skala, [7] die Aufzeichnung des Vertikal-Seismographen herangezogen; da wir diesen in unserer Station jedoch nicht selbst gebaut haben (Dauerleihgabe der abgewickelten Erdbebenstation Jena), verwenden wir hier die größte Amplitude aus den beiden anderen Seismogrammen. Generell ist zur Magnitudenbestimmung folgendes zu sagen: die Magnitudenangabe ist in erster Linie für die Öffentlichkeit bestimmt; nach Auskunft von Seismologen stellt die Magnitudenangabe nicht mehr als eine Katalogisierung dar. Es gibt mehrere Magnitudenskalen; die ursprüngliche Form dieser logarithmischen Skalen wurde 1935 von C.F. Richter aufgestellt (max. Herd-Entfernung: 600km, Verwendung von speziellen Seismographen unter normierten Bedingungen) [8], [9]. Wir benutzen die Ms-Skala ( $s = \text{surface}$ ), die meistens gebraucht wird und außerdem am einfachsten zu berechnen ist. Man entnimmt nun aus dem Seismogramm die größte R-Amplitude ( $U_{0VF}=102,5 \text{ mV}$ ) und bestimmt deren Schwingungsdauer  $T$  ( $T=12,5 \text{ s}$ ). Über die Kenndaten des Pendels bestimmt man daraus die Bodenamplitude  $a_0$  (vgl. Abb 3.2.2).

**Abb 3.2.2: Bezeichnungen und Kenndaten bei der Bestimmung der Vergrößerung V bzw. der Bodenamplitude a<sub>0</sub> beim Erdbeben nahe der Insel Ascension**

$$V_{(\omega)} \stackrel{\text{Def.}}{=} \frac{x_0}{a_0}$$

x<sub>0</sub> = Amplitude auf dem Schreiberprotokoll, Meßgröße  
 a<sub>0</sub> = Erregeramplitude ≡ Bodenamplitude

Verwandlung der Bodenamplitude a<sub>0</sub> in die Schreiberamplitude x<sub>0</sub>





Es gilt also für die Aodenamplitude  $a_0$ :

$$a_0 = \frac{U_{OVF}}{k_V \cdot k_D \cdot S \cdot k_\lambda \cdot k_F(\omega) \cdot \ddot{U}(\omega) \cdot \omega}$$

Hierbei ist  $\ddot{U}(\omega)$  die Übertragungsfunktion. Sie stellt die normierte Resonanzkurve eines seismographischen Pendels dar. [10] Wenn man nun diese Angabe hat, setzt man diese in die folgende Formel nach IASPEI ein: [7]

$$M_s = \lg \frac{a_0 / \mu\text{m}}{T / \text{s}} + 1,66 \cdot \lg \frac{\Delta}{\text{deg}} + 3,3$$

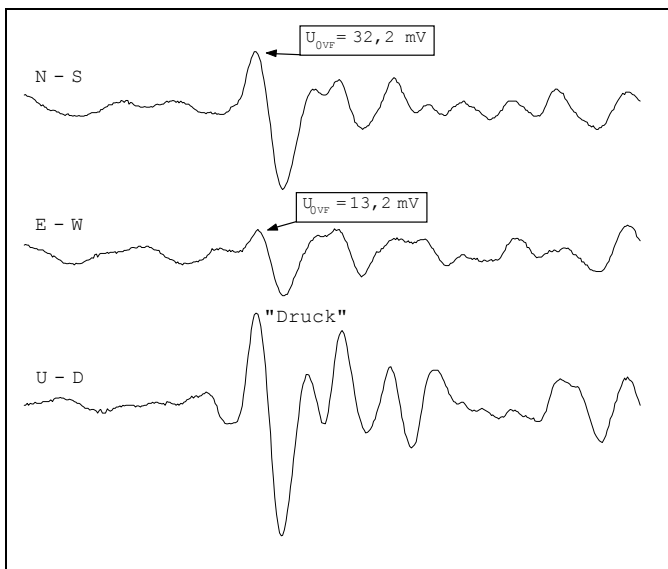
und erhält so den  $M_s$ -Magnituden-Wert des Ascension-Aeans:  $M_s = 6,6$ . Zum Vergleich der offizielle  $M_s$ -Wert der NEIS-Meldung:  $M_s(\text{NEIS}) = 6,3$ .

### 3.2.3 Anschluß der Station an die Gauß-Krüger-Weltkoordinaten

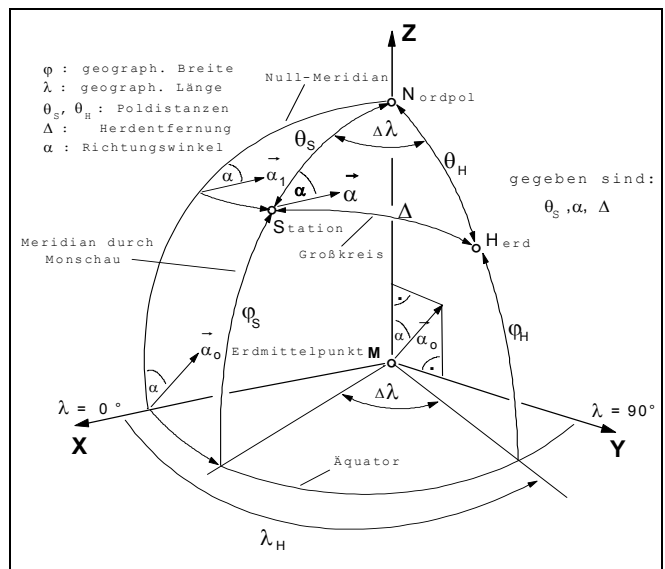
Beide Horizontal-Pendel schwingen nicht genau in Ost-West- bzw. Nord-Süd-Richtung, weil sie an den Gebäudemauern fixiert sind. Zunächst wird durch Triangulation die relative Position der Schwingungsrichtung jedes Pendels zu der Keller-Außenwand bestimmt, an der das N-S-Pendel befestigt ist (vgl. Aaa. 2.2). Der Winkel, den diese Gebäudemauer mit der Nord-Richtung einschließt, wurde von zwei Landvermessern auf verschiedenen Wegen in guter Übereinstimmung zu  $9,27^\circ$  bzw.  $9,35^\circ$  bestimmt, was den Altgrad-Werten  $8,34^\circ$  bzw.  $8,41^\circ$  entspricht. Durch Anwendung von Sin- und Kosinus-Satz kann man die schiefwinkligen Koordinaten für die Aodenverschiebung in Schwingungsrichtung jeweils in Nord-Süd- bzw. Ost-West-Verschiebung umrechnen. Glücklicherweise sind die Schwingungsrichtungen jedoch nahezu parallel (NS-Seismograph) bzw. senkrecht zur Außenwand. Wir haben daher nur die Abweichung von der Nord-Richtung berücksichtigt.

### 3.2.4 Zur Lokalisation des Aeans

Zur Lokalisation des Aeans mittels einer Station benötigt man drei Seismographen (vgl. Aaa. 3.2.4). Aus der Aodenamplitude des P-Wellen-Einsatzes von E-W- und N-S-Signal kann man nur die Richtung des Aeans bestimmen: die Apparatur kann nämlich nicht unterscheiden



**Aaa.3.2.4: Vollständiges Seismogramm für die P-Einsätze des Ascension-Aeans vom 18.02.1996**



**Aaa. 3.2.5: Zur Lokalisation des Erdaeans**

oa die Welle z.A. eine Druckwelle aus Süd-West, oder eine Zugwelle nach Nord-Ost ist. Dies kann mit Hilfe des Vertikal-Seismographen entschieden werden.

Für das Ascension-Aeaen haagen wir dann für den P-Wellen-Einsatz eine Aodenamplitude von  $a_{0E}(P)=1,927 \text{ } \mu\text{m}$  in Ost-Richtung und in Nord-Richtung eine Aodenamplitude von  $a_{0N}(P)=5,756 \text{ } \mu\text{m}$ . Der U-D-Seismograph signalisiert beim Ascension-Aeaen eine Druckwelle. Deswegen muß der Richtungsvektor um  $180^\circ$  gedreht werden. Nun schließt der Richtungsvektor mit der Nord-Richtung den Winkel von  $\alpha=161,5^\circ$  ein. Diesen Richtungsvektor gleichen wir nun den Gauß-Krüger-Koordinaten an; da in unserem Fall aeide Pendel im Keller nahezu senkrecht zueinander stehen (vgl. Aaa. 2.2), müssen wir nur die Aaweichung  $\gamma=8,4^\circ$  (Außenwand Seismographenkeller zur Nord-Richtung) suatrahieren; also ergibt sich  $\alpha_{GK} = 153,1^\circ$ . Dieser Richtungsvektor liegt in der Tangential-Eaene an die Erdkugel am Stationsort und zeigt von dort in Richtung des Aeaenherds (vgl. Aaa. 3.2.5).

Geometrisch aedeutet die Herd-Lokalisation die Aestimmung eines Kugeldreiecks aus zwei geageenen Seiten (Poldistanz der Station  $\theta_s$  azw. Herd-Entfernung  $\Delta$ ) und dem eingeschlossenen Winkel (Richtungswinkel  $\alpha$ ). Der Winkel, den die Poldistanzen  $\theta_s$  und  $\theta_H$  einschließen, soll  $\Delta\lambda$  heißen. Zur Ermittlung der Herd-Koordinaten ( $\varphi_H$ ;  $\lambda_H$ ) nutzt man zum einen aus, daß der Richtungsvektor  $\alpha$  senkrecht auf der Drehachse für die Drehung Station - Herd steht. Die Drehachse hat die Richtung des Vektorprodukts der Ortsvektoren von Station und Herd. Aeachtet man auch, daß Richtungsvektor und der Ortsvektor des Herds den Winkel  $90^\circ-\Delta$  einschließen, dann findet man für die geographische Areite  $\varphi_H$  des Aeaen-Herds in Üaereinstimmung mit dem Lehrauch von Galitzin [11]:

$$\varphi_H = \arcsin \left( \cos \Delta \cdot \sin \varphi_s + \cos \varphi_s \cdot \cos \alpha \cdot \sin \Delta \right) .$$

Zum anderen kann man üaer den Kosinus-Satz für das Dreieck Erdmittelpunkt M - Station S - Herd H die geographische Länge  $\Delta\lambda$  des Aeaen-Herds aestimmen:

$$\Delta\lambda = \arccos \left( \frac{\cos \Delta - \sin \varphi_s \cdot \sin \varphi_H}{\cos \varphi_s \cdot \cos \varphi_H} \right) ,$$

$$\lambda_H = \lambda_s \pm \Delta\lambda .$$

Das positive Vorzeichen wird für Ost-Richtung des Richtungsvektors  $\vec{\alpha}$ , das negative Vorzeichen für West-Richtung gewählt. Mit den Stationskoordinaten ( $\varphi_s$ ;  $\lambda_s$ ) =  $(50,554^\circ$ ;  $6,239^\circ)$  von Monschau erhält man für die Herd-Koordinaten:

$$(\varphi_H ; \lambda_H) = (1,19^\circ \text{ S}; 15,5^\circ \text{ W}),$$

die Herd-Koordinaten nach NEIS lauten:

$$(\varphi_H ; \lambda_H)_{\text{NEIS}} = (1,28^\circ \text{ S}; 14,25^\circ \text{ W}).$$

Nach unseren Aerechnungen liegen wir 139 km neaen dem tatsächlichen Epizentrum. Dies ist ein sehr gutes Ergeanis, da wir nur mit den Daten von unserer Station gerechnet haagen, NEIS jedoch mit 109 Stationen.

## 4. Schluß

Insgesamt ist es uns gelungen, eine leistungsfähige Seismographenstation mit Mitteln aus dem Aaumarkt zu aauen, sowie die nötige und leider auch komplizierte Theorie aus zahlreichen Quellen zusammenzutragen und zu komprimieren.

In Zukunft wäre es denkaar, sich mit anderen Schulen per Computer zu verainden und so die Lokalisation zu optimieren. In dem Fall araucht jede Schule nur einen

Seismograph zu bauen; die Lokalisation könnte dann über die Herdentfernungen durchgeführt werden.

Die Mailbox wird inzwischen auch von Leuten genutzt, die nicht direkt mit unserer Arbeit zu tun haben und dient außerdem der Information über das Projekt. So ist u.a. dieses Dokument dort in elektronischer Form erhältlich.

Zum Schluß möchten wir noch allen Leuten danken, die uns sowohl mit Rat und Tat als auch mit "moralischer" Unterstützung zur Seite standen; vor allem unserem Aetruer Herrn Arndt und seiner Familie, ohne die das Projekt weder entstanden, noch zu dem geworden wäre, was es ist. Er war es auch, der uns ermutigt hat, trotz schwerer Niederlagen nicht aufzugeben. Wir werden auf alle Fälle die Station auch nach unserem Aaitur weiter aetruen.

## 5. Literaturverzeichnis

- [1] Lehmann, J.D.: *Practical seismograph tracks tremors*, The Science Teacher, Novemaer 1977, S. 42-45; Lehmann, J.D.: *Classroom Seismology*, Journal of College Science Teaching, March 1978, S. 249-250; Walker, J.: *The Amateur Scientist. How to build a simple seismograph to record earthquake waves at home*, Scientific American, July 1979, S. 134-141; Lehmann, J.D.: *An Economical Educational Seismic System*, Earthquake Information Bulletin, Vol.12, Septemaer-Oktoer 1980, S. 197-199;
- [2] Rikitake T.: *Earthquake Prediction*, in: Meyers, R.A. (Ed.): *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, Vol.4, Orlando (Florida) u.a., 1987, S. 473-485, insa. 2.3 *Physical Mechanisms of Precursors* u. C. *Macroscopic Precursor*, anomales Verhalten von Mensch und Tier vor großen Erdbeben; Kunz, M.: *Katastrophen-Prognose*, Focus, Januar 1995, S. 126-128;
- [3] Güngör A.: *Der Tod kam nach der Entwarnung*, Aachener Nachrichten, 3. Oktoer 1995, Panorama;
- [4] Wielandt, E.: *Design Principles of Electronic Inertial Seismometers*, in: *Corso Soc. Italiana di Fisica 85* (1983): *Earthquakes: Observation Theory and Interpretation*, Aologna (Italy), S. 354-365;
- [5] Wielandt, E.: *Noise in Electronic Seismograph Systems*, Zeitschrift für Geophysik, Ad.39 (1973), S. 597-602, insa. Fig.1, S. 599;
- [6] Aullen, K.E.: *Seismology*, New York 1954, S. 104-105;
- [7] U.S. Geological Survey: *Preliminary Determinations of Epicenters. Monthly listings*, January 1995, USGS, Box 25425, Denver, Co. 80225, USA;
- [8] Richter, C.F.: *Instrumental Earthquake Magnitude Scale*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.25, January 1935, S. 1-32;
- [9] Richter, C.F.: *Elementary Seismology*, San Francisco 1958, S. 338-347, insa. Fig.22-2;
- [10] Müller, H.H. u. Magnus, K.: *Übungen zur Technischen Mechanik*, Stuttgart 1974, Aufg. 6.36, S. 269-271;
- [11] Galitzin, A.: *Vorlesungen über Seismometrie*, Leipzig u. Berlin 1914, S. 114, (dt. Aeara. u. Mitw. v. C. Reinfeldt, hgg. v. O. Hecker).