

Säkularvariationsanomalie in Thüringen

Peter Spitta, Institut für Geophysik Göttingen

1 Einleitung

Säkularvariationen (SV) des Magnetfeldes sind sehr langsame Änderungen der Richtung und Stärke des Erdmagnetfeldes, die nicht von äußeren Quellen herrühren, sondern aus dem Erdinneren stammen. Sie lassen sich nur durch Wiederholungsmessungen an den gleichen Punkten (Säkularpunkten) nachweisen, die jährlich vermessen werden, oder durch eine sorgfältige Analyse der erdmagnetischen Landesvermessungen. Durch einen Vergleich der Daten der Landesvermessungen von 1901, 1935, 1957 und 1976 auf dem Gebiet der ehemaligen DDR und einer Polynomentwicklung der Daten, die an den 11 Säkularpunkten in dem gleichen Gebiet gewonnen worden sind, fand MUNDT (1978, 1981) Anomalien der Säkularvariation (SV), die in Thüringen, im Erzgebirge und bei Usedom (Ostsee) liegen. Er ging von

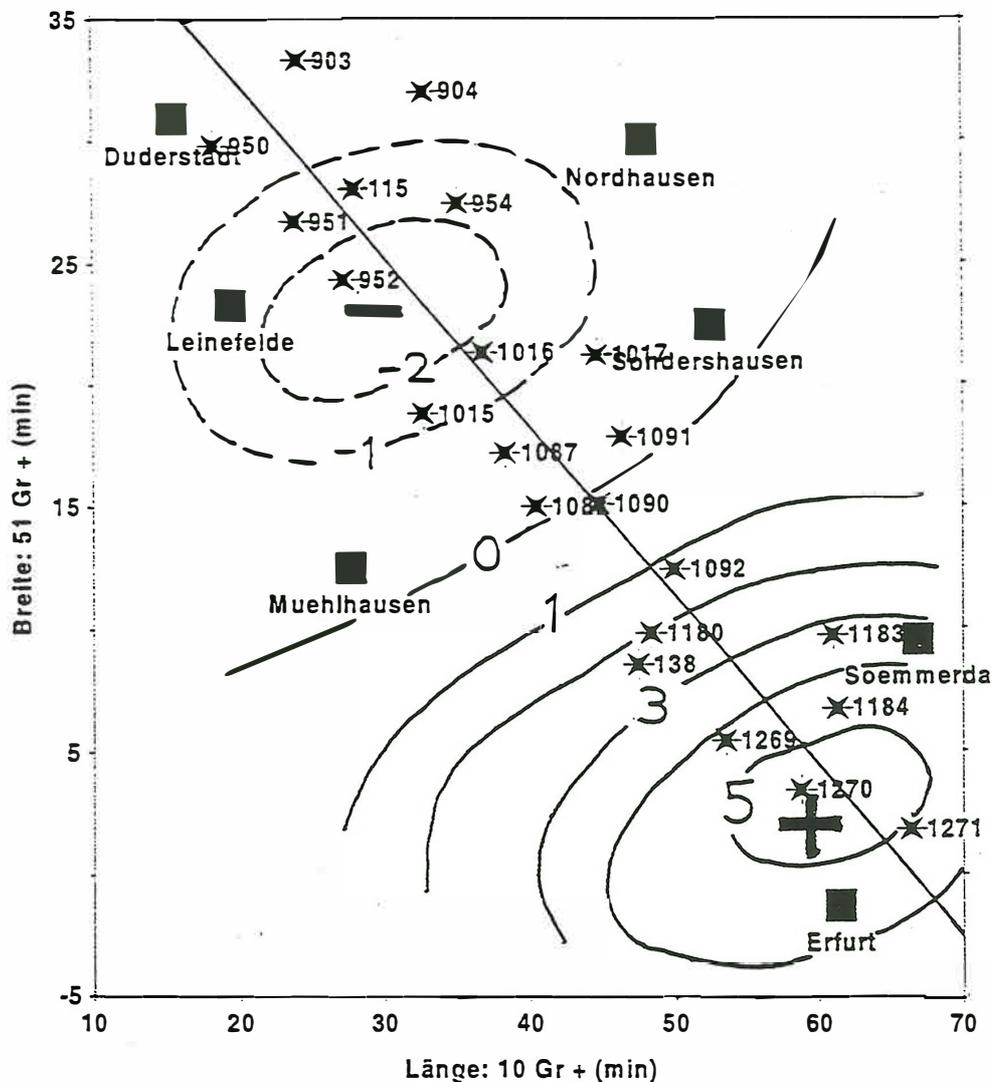


Abb. 1: SV-Anomalie der Totalintensität F in Thüringen nach MUNDT (1978), dargestellt als Isolinien (in nT/a). Eingezeichnet ist das Profil und die Lage der Meßstationen für die erneute Vermessung

einem "normalen" Säkularvariationfeld an den Säkularpunkten aus, das durch die zeitlich wiederholten Messungen des Magnetfeldes an diesen Punkten berechnet worden ist. Die örtlichen Feldänderungen von Punkt zu Punkt werden linear interpoliert (Polynomentwicklung vom 1. Grad). Die SV-Ergebnisse der Messungen der Landesvermessungen werden mit den Polynomentwicklungen verglichen, es wird angenommen, daß die SV zeitlich linear verläuft. Ist die Differenz der beiden Felder an den Meßpunkten größer als der Approximationsfehler an diesem Punkt, so deutet das auf eine SV-Anomalie hin (MUNDT, 1974).

Diese Anomalien haben eine Erstreckung von weniger als 100 km. Bei einer normalen Landesvermessung mit einem Punktabstand von durchschnittlich 50 km wären sie vermutlich nicht entdeckt worden. Da aber in der ehemaligen DDR ein sehr dichtes Meßpunktnetz vorlag (Punktabstand 13 km), hatte man genügend Daten, um auch kleinräumige Strukturen auflösen zu können. Da aber diese anomalen Ergebnisse nur auf den Daten der Landesvermessungen beruhten, wäre es erforderlich gewesen, zu untersuchen, ob die Abweichungen der SV von der normalen SV auch bei jährlichen Messungen nachzuweisen sind. Das Observatorium Niemegk (NGK) hat die Anomalie im Erzgebirge weiter vermessen, während die Anomalien in Thüringen und bei Usedom nicht weiter untersucht worden sind. Da die thüringische Anomalie nicht weit von Göttingen entfernt ist, hat das Institut für Geophysik im Rahmen eines DFG-Projektes diese Vermessung übernommen.

2 Meßgebiet, Meß- und Auswerteverfahren

Durch das dichte Punktnetz der Landesvermessung ist die Lage der von MUNDT gefundenen Anomalie gut bekannt. die Extremwerte der Anomalie liegen zwischen Duderstadt im NW und Erfurt im SE. die maximalen Amplituden betragen +5 nT/a (Mittelhausen) und -2 nT/a

Tabelle 1:

Meßpunkte in Thüringen mit Angabe der Koordinaten, Meßpunkt-
nummer und Steigung der Regressionsgeraden, bezogen auf die
Observatorien GTT und NGK

| Nr. | Name | geogr. | Breite | Länge | Höhe | Steigung | Steigung |
|------|---------------|--------|--------|---------|------|------------|------------|
| | | o | | o | m | nT/a (GTT) | nT/a (NGK) |
| 903 | Bockelnhagen | 51 | 33.3 | 10 24.1 | 314 | 1.09 | 1.03 |
| 904 | Trebra | 51 | 32.0 | 10 32.9 | 254 | 1.12 | .18 |
| 950 | Ecklingerode | 51 | 29.8 | 10 18.3 | 260 | 1.35 | .61 |
| 951 | Kälberberg | 51 | 26.7 | 10 23.8 | 521 | .98 | .43 |
| 952 | Bernterode | 51 | 24.3 | 10 27.3 | 332 | .35 | .48 |
| 954 | Bleicherode | 51 | 27.4 | 10 35.2 | 273 | .91 | .43 |
| 1015 | Menteroda | 51 | 18.8 | 10 32.8 | 455 | .30 | -.56 |
| 1016 | Holzthaleben | 51 | 21.3 | 10 36.9 | 429 | .50 | .44 |
| 1017 | Immenroda | 51 | 21.2 | 10 44.7 | 370 | 1.23 | -1.74 |
| 1087 | Grossmehlra | 51 | 17.2 | 10 38.4 | 327 | .63 | -.61 |
| 1088 | Schlotheim | 51 | 15.0 | 10 40.5 | 300 | .86 | .15 |
| 1090 | Abtsbessingen | 51 | 15.1 | 10 44.8 | 299 | 1.29 | .20 |
| 1091 | Gundersleben | 51 | 17.8 | 10 46.4 | 301 | .40 | -.61 |
| 1092 | Mittelsömmern | 51 | 12.4 | 10 50.0 | 276 | .80 | -1.33 |
| 1180 | Tennstedt | 51 | 9.8 | 10 48.4 | 217 | .03 | -.64 |
| 1183 | Straussfurt | 51 | 9.7 | 10 61.0 | 192 | 1.81 | -1.31 |
| 1184 | Hassleben | 51 | 6.7 | 10 61.3 | 155 | .96 | -.88 |
| 1269 | Gebesee | 51 | 5.4 | 10 53.5 | 163 | 1.10 | .27 |
| 1270 | Mittelhausen | 51 | 3.4 | 10 58.8 | 161 | .58 | .30 |
| 1271 | Töttleben | 51 | 1.8 | 10 66.4 | 236 | -0.22 | -.50 |
| 115 | Grossbodungen | 51 | 28.0 | 10 28.0 | 300 | .75 | .94 |
| 138 | BadTennstedt | 51 | 8.5 | 10 47.5 | 215 | -0.57 | -1.36 |

(Bernterode). Wenn man die zeitliche Entwicklung der Anomalie verfolgen und Meß- und Auswertefehler minimieren will, ist es nicht erforderlich, sie erneut flächenhaft zu vermessen: es reicht das Vermessen auf einem Profil über die Extremwerte der Anomalie. Aus den sehr zahlreichen Meßpunkten, die 1957 bei der Landesvermessung benutzt wurden, wurden 22 Punkte ausgewählt, die in der Nähe der gedachten Profillinie liegen. Die so ausgesuchten Meßpunkte sind in Abb. 1 durch ihre Nummern, die sie bei der Landesvermessung bekamen, gekennzeichnet. Ihre geographischen Koordinaten, ihre Höhe und das Ergebnis der beiden SV-Berechnungen (mit NGK bzw. GTT als Bezugsstation) werden in Tab. 1 angegeben. Zur Orientierung wurden in Abb. 1 noch einige Städte in der Umgebung aufgenommen.

Nach der Veröffentlichung von MUNDT (1978) ist die Anomalie in allen Magnetfeldkomponenten sichtbar. Damit der Meßaufwand vertretbar bleibt, wird die Anomalie nur in der Totalintensität F vermessen. Als Meßinstrument wird ein Protonenmagnetometer eingesetzt, da mit diesem weder Orientierungs- noch Horizontierungsprobleme auftreten.

3 Auswertung mit NGK als Bezugsstation

Da nur Änderungen der Säkularvariation beobachtet werden sollen, müssen alle äußeren Variationen bekannt sein, damit sie berücksichtigt werden und die Messungen reduziert werden können. Es wäre sinnvoll gewesen, mit einem zweiten Protonenmagnetometer in der Nähe des zu untersuchenden Gebietes die täglichen Variationen aufzuzeichnen und durch eine Differenzbildung mit den einzelnen Meßwerten an den Profilpunkten die Reduktion vorzunehmen. Leider stand kein zweites Protonenmagnetometer zu Verfügung. Deshalb wird NGK als Bezugsstation verwendet, obwohl die geographische Entfernung relativ groß ist (Luftlinie NGK - Mitte des Meßgebietes (Tennstedt) etwa 165 km). Da aber nach Möglichkeit nur an magnetisch ruhigen Tagen gemessen wird, sind vermutlich die Stromsysteme in der Ionosphäre so großräumig, daß das Magnetfeld der ionosphärischen Stromsysteme an den Meßstationen und in NGK sehr ähnlich ist und der bei einer Abweichung entstehende Fehler nicht ins Gewicht fällt. Dann kann man die in NGK registrierten Variationen unmittelbar zum Reduzieren benutzen. Die Differenz zwischen den Meßwerten an einer der Meßstationen und den gleichzeitig gemessenen Variationen in NGK sollte konstant sein, solange das Feld ruhig, der Unter

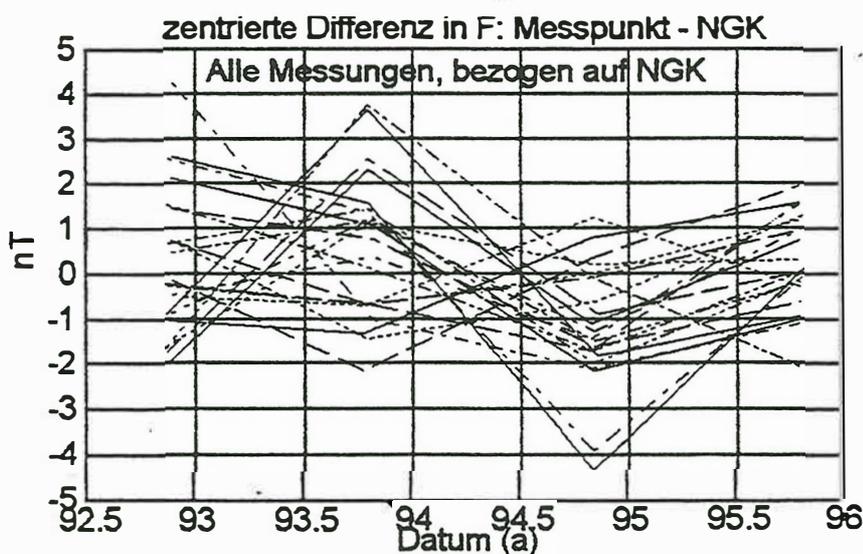


Abb. 2: Abweichungen vom Mittelwert an jeder Meßstation im Laufe der Zeit

grund vergleichbar und die Säkularvariationen die gleichen sind. Falls nicht, ist die Steigung der Regressionsgeraden, die durch die so gewonnenen und reduzierten Meßwerte aus den verschiedenen Jahren gelegt wird, ein Maß für die Abweichung des SV an diesem Ort. Die Auswertung erfolgt nach folgendem Schema:

Bildung der Differenz D der F-Werte an einer Meßstation $F(St)$ und der gleichzeitig registrierten F-Variationen in NGK ($a = \text{Jahr}$)

$$D(St, a) = F(St, a) - F(NGK, a)$$

Berechnung des Mittelwertes MW aller Differenzen im Laufe der Jahre (a) an einer Station:

$$MW(St) = \frac{1}{n} \sum_a D(St, a)$$

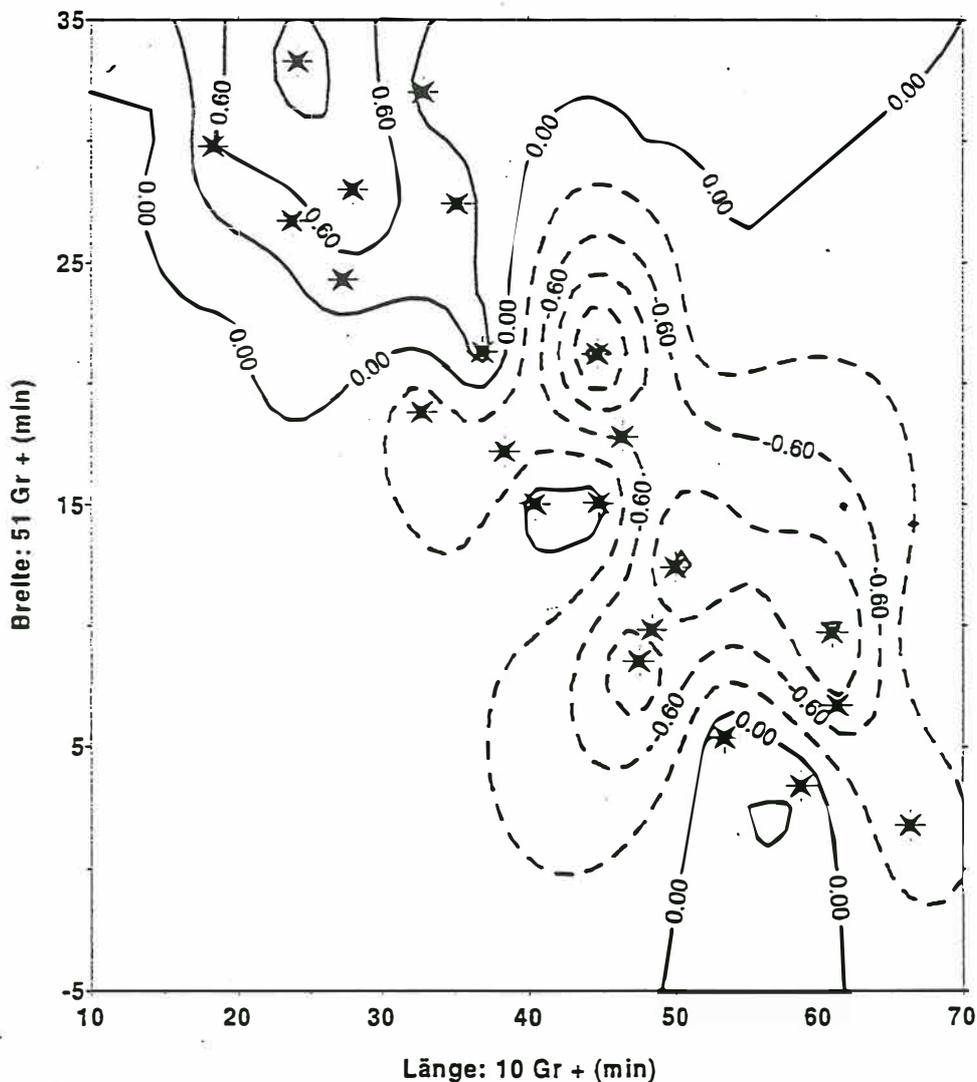


Abb. 3: Konturplot der Abweichungen der SV an jeder Meßstation von der SV in NGK. Die Isolinien (in nT/a) sind durchgezogen für positive, gestrichelt für negative Abweichungen, die Meßpunkte sind wie in Abb. 1 markiert, aber nicht mehr beschriftet.

Berechnung der Abweichung A jeder Differenz vom Mittelwert (Zentrierung):

$$A(St,a) = D(St,a) - MW(St)$$

Berechnung des Mittelwertes MW(a) aller Abweichungswerte aller Stationen innerhalb eines Jahres:

$$MW(a) = \frac{1}{m} \sum_{s_i} A(St,a)$$

Berechnung der Steigung der Regressionsgeraden (SV) aus den Abweichungswerten A und der Zeit a:

$$SV(St) = \frac{n \sum_a aA(St,a) - \sum_a a \sum_a A(St,a)}{n \sum_a a^2 - (\sum_a a)^2}$$

Die 22 Stationen, die in der Nähe des Profils lagen, sind in den Jahren 1992 bis 1995 jeweils im Herbst vermessen und ausgewertet worden. Faßt man die zeitliche Entwicklung der Abweichungen A(St,a) vom jeweiligen Mittelwert in einer Zeichnung zusammen (Abb.2), so erkennt man, daß kein Abweichungswert ± 5 nT erreicht. Die Berechnung der Steigungen der Regressionsgeraden durch diese Punkte ergibt Werte, die deutlich kleiner sind als ± 2 nT/a, wie in Abb. 3 gezeigt wird. Die genaueren Ergebnisse von jedem Meßpunkt stehen in Tab. 1.

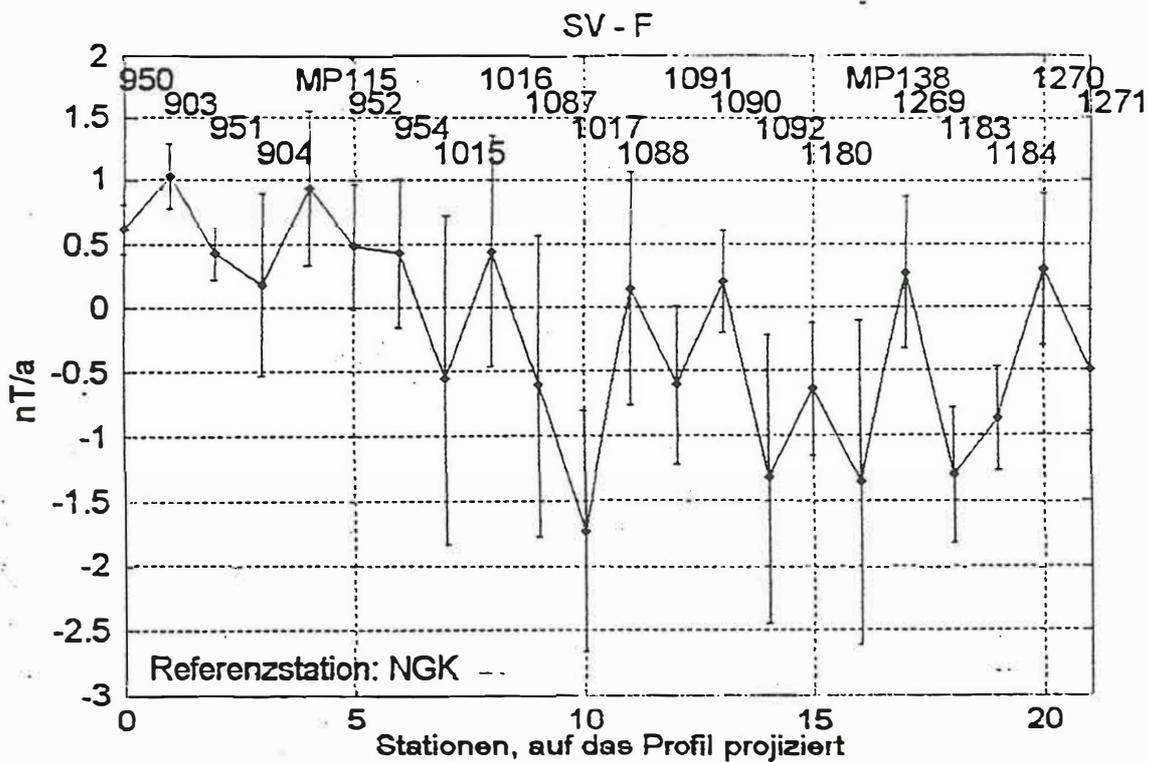


Abb. 4: Abweichungen der SV von der SV in NGK mit Angabe der Fehler (rms) an jeder Station, die senkrecht auf das Profil projiziert wurde. Zur Vereinfachung der Darstellung sind die Abstände der Stationen auf dem Profil als gleich angenommen worden.

Die flächenhafte Verteilung der SV-Abweichungswerte zeigt Abb. 3. Die Meßpunkte liegen nicht exakt auf einem Profil über die SV-Anomalie, sie bedecken einen schmalen Streifen in NW-SE-Richtung. Obwohl die Gitterpunkte alles andere als ein regelmäßiges Gitter bilden, ist es möglich, mit Hilfe eines Interpolationsprogrammes, das aus einem willkürlichem Punkthaufen ein regelmäßiges Gitter macht, einen Konturplot der SV-Abweichungen zu erzeugen. In größerer Entfernung von den Meßpunkten ist der Verlauf der Linien sicher willkürlich, nur in der Nähe der Meßpunkte kann man den dargestellten Linien eine Bedeutung zumessen. Es zeigt sich, daß die Anomalie von MUNDT, die er positiv (+5 nT/a) nördlich von Erfurt, negativ (-2 nT/a) etwa bei Bernterode (Punkt 952) angegeben hat, nach den Messungen erheblich kleiner ist, und daß sich das Vorzeichen der Extremwerte umgekehrt hat. Der größte negative Wert trat bei Punkt 1017 (Immenroda) mit -1.74 nT/a auf, der größte positive Wert lag bei +1.03 nT/a (Punkt 903, Bockelnhagen).

Da die Abweichungswerte bei einem Konturplot flächenhaft dargestellt werden, ist es nicht möglich, die bei jeder Messung entstehenden Meß- und Auswertefehler anzugeben. Das soll in der Abb. 4 nachgeholt werden. Projiziert man die Stationen senkrecht auf das Profil (zur Vereinfachung der Darstellung werden die Stationsabstände als gleich angenommen) und trägt die SV-Abweichungen mit ihren mittleren quadratischen Fehlern über dem Profil auf, so erkennt man, daß im NW des Untersuchungsgebietes eine positive, im SE eine negative Tendenz vorherrscht, dabei aber die durchschnittlichen Amplituden trotz großer Meßfehler nur +0.5 bzw. -1 nT/a betragen.

4 Einfluß der geographischen Entfernung

Bei der bisherigen Auswertung wird angenommen, daß das Magnetfeld der ionosphärischen Stromsysteme im Meßgebiet und in NGK sehr ähnlich ist. Das ist nur in erster Näherung der Fall, wie ein Vergleich der Magnetfelder in NGK (Breite $\varphi = 52^\circ 4.3'$) und Göttingen (GTT, $\varphi = 51^\circ 32.8'$) zeigt. Als Beispiel wird in Abb. 5 der Tagesgang von F in GTT und NGK gezeigt. In der linken Zeichnung sind die Felder von GTT und NGK vom 08.10.1993 zu sehen. Um einen gemeinsamen Anfangspunkt zu haben, werden die beiden Felder um 48000 nT (GTT) bzw. 48259.2 nT vermindert. Man sieht einen ausgeprägten Sq-Gang, kleinere Störungen über Mittag, aber auch ab 10 UTC eine größere Differenz zwischen den beiden Kurven, die sich in den Nachtstunden wieder verliert. Offenbar erfährt das Erdmagnetfeld in GTT eine größere Absenkung durch das Sq-Stromsystem in der Ionosphäre als in NGK. Das wird noch deutlicher, wenn die Differenz der beiden Magnetfelder aufgetragen wird (rechte Zeichnung). Hier ist die Differenz der Magnetfelder in GTT und NGK (vermindert um 260 nT) gezeichnet an den Tagen, an denen in Bockelnhagen (Punkt 903) gemessen wurde, um die SV-Abweichungen zu bestimmen. Die Meßtage sind in der Zeichnung angegeben. Es ist deutlich zu sehen, daß an allen drei Tagen zwischen 10 und 15 h die Sq-Variation in GTT größer ist als in NGK. Das bedeutet, daß das resultierende Erdmagnetfeld in GTT kleiner ist als in NGK, die Differenz wird zeitweise negativ. Dieser Effekt wirkt sich natürlich auch bei der Reduktion der Meßwerte an den Meßpunkten aus und vergrößert den Fehler. Da die geographische Breite der Meßstationen zwischen $51^\circ 33.3'$ und $51^\circ 01.8'$ liegt, ist GTT mit $\varphi = 51^\circ 32.8'$ als Referenzstation günstiger, da das äußere Magnetfeld in GTT dem Magnetfeld an den Meßstationen ähnlicher ist.

In der rechten Zeichnung sind die drei Kurven auf die gleiche Weise erzeugt worden (übergreifendes Mittel über 61 Minutenwerte). Wenn man annimmt, daß weder NGK noch GTT auf einer SV-Anomalie liegen, dann sollten die Differenzen der Magnetfelder in den Nachtstunden einen mehr oder weniger konstanten Wert ergeben. Wenn man eine Schwan-

kunftsweite zuläßt, wie sie die Kurven von 1993 und 1995 geben, so fällt die Kurve von 1994 nach oben aus dem Rahmen: Das Feld ist im Jahre 1994 in NGK um etwa 2 nT zu klein oder in GTT um den gleichen Betrag zu groß. Zu ganz ähnlichen Ergebnissen kommt man auch beim Vergleich der Momentanwerte um 2h UTC von GTT und NGK. Da nicht klar ist, worauf diese Abweichungen beruhen, und andererseits die räumliche Entfernung zwischen dem Meßgebiet und GTT erheblich kleiner ist (Tennstedt - GTT etwa 72 km), liegt es auch aus diesem Grunde nahe, GTT als Referenzstation zu nehmen.

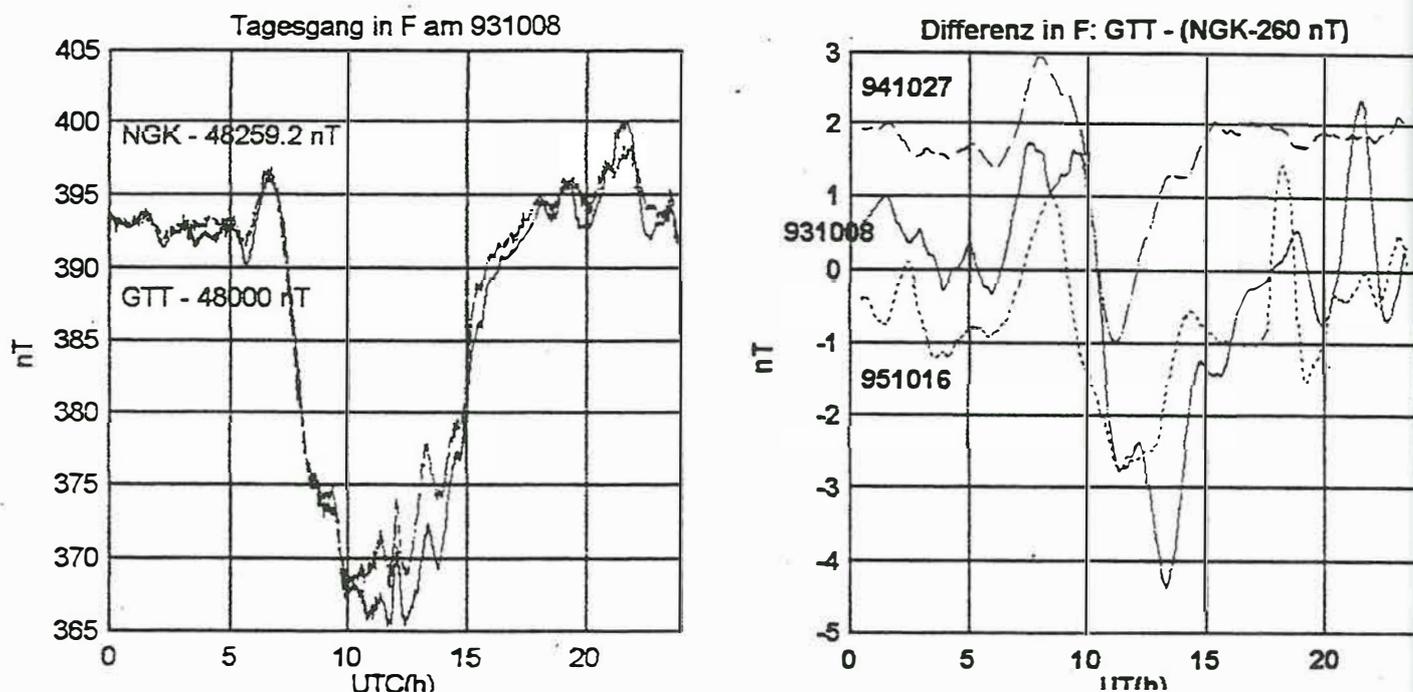


Abb. 5: Tagesgang der Totalintensität F an den beiden Observatorien NGK und GTT (linke Zeichnung). Durch das Sq-Stromsystem wird das Erdmagnetfeld in GTT mehr beeinflußt als in NGK, es wird kleiner. Das wird durch Differenzbildung $F(\text{GTT}) - F(\text{NGK})$ deutlicher, dargestellt an drei Tagen in den Jahren 1993, 1994 und 1995 (rechte Zeichnung).

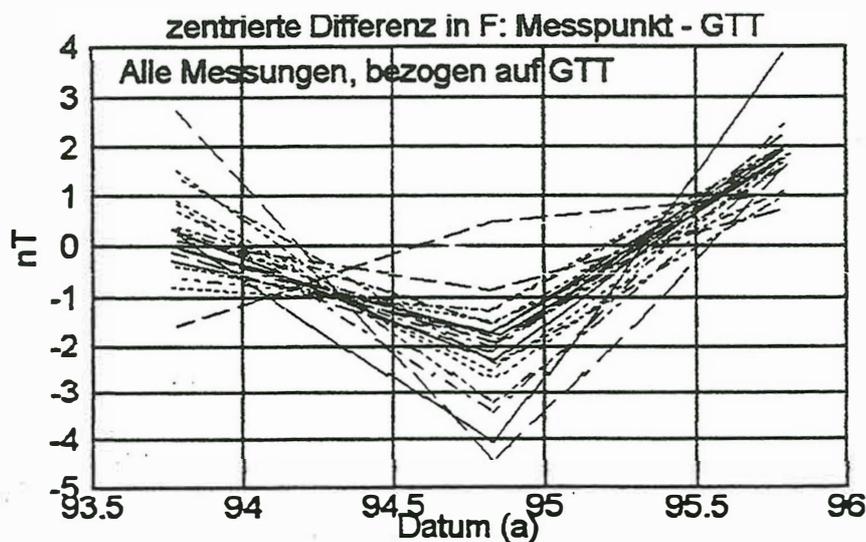


Abb. 6: Abweichungen vom Mittelwert an jeder Meßstation im Laufe der Zeit

5 GTT als Referenzstation

Die F-Registrierung in GTT wurde erst Ende August 1993 aufgebaut. Deshalb lassen sich die Messungen im Jahre 1992 noch nicht mit GTT als Referenzstation auswerten, es stehen deshalb nur drei Messungen pro Punkt zur Verfügung. Es wird das gleiche Auswerteschema wie in Abschnitt 3 benutzt. Abb. 6 zeigt die Abweichungswerte von Mittelwert an jeder Station über der Zeit: sie sind kleiner geworden und haben eine kleinere Streuung, aber der Mittelwert aller Abweichungen liegt 1994 etwa 2 nT unter den Werten von 1993 und 1995.

Die Steigungen der Regressionsgeraden (SV) wurden ebenfalls in Tab. 1 aufgenommen, einen Konturplot zeigt Abb. 7, die auf das Profil projizierten Meßpunkte zeigt Abb. 8 mit den SV-Werten und ihren Meß- und Auswertefehlern. Während der Konturplot mit NGK als Bezugsstation noch eine schwache Anomalie in Profilrichtung zeigte, ist bei dem Plot mit GTT als Bezugsstation davon nichts mehr zu sehen, in Profilrichtung herrscht ein SV-Wert von

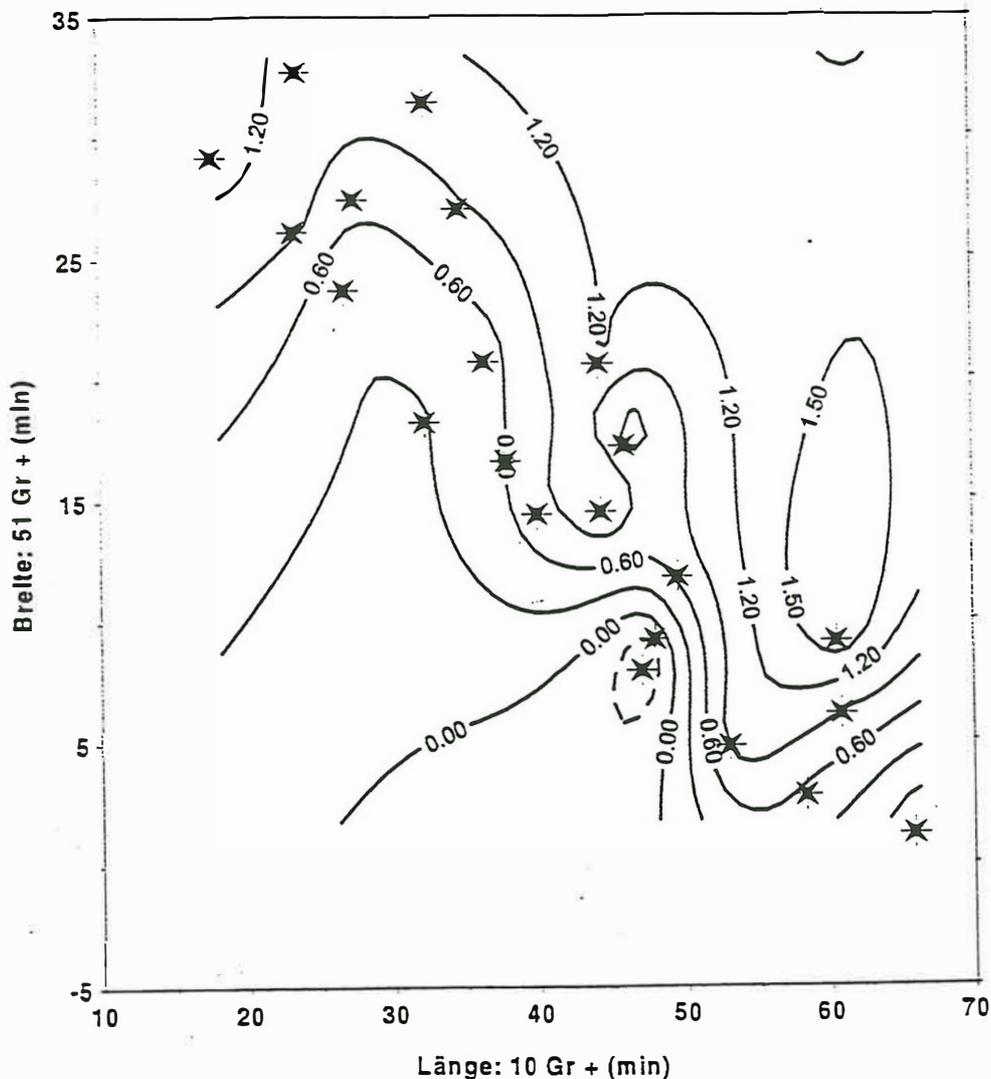


Abb. 7: Konturplot der Abweichungen der SV an jeder Meßstation von der SV in GTT. Die Isolinien (in nT/a) sind durchgezogen für positive, gestrichelt für negative Abweichungen, die Meßpunkte sind wie in Abb. 1 markiert.

0.6 nT/a vor, während senkrecht zum Profil - in SW-NE-Richtung - die Abweichungen langsam anzusteigen scheinen. Da aber in größerer Entfernung vom Profil nicht mehr gemessen wurde, kann man keine Aussage darüber machen, ob diese Tendenz wirklich zutrifft. Im Hinblick auf die sehr großen Fehlerbalken in Abb. 8 ist sicher große Vorsicht geboten.

6 Schlußfolgerung

Es wird allgemein angenommen, daß das Erdmagnetfeld verursacht wird durch Ströme im flüssigen Erdkern, die zeitlich nicht konstant sind. Die darüberliegenden leitfähigen Erdschichten wirken wie ein Tiefpaß, indem sie die kurzperiodischen Magnetfeldanteile weg-dämpfen und Ereignisse, die im Erdkern möglicherweise kleinräumig ablaufen, bis zur Erdoberfläche räumlich verbreitern, so daß Anomalien der SV eine Ausdehnung von mehreren 100 km haben müßten. Die Längserstreckung der von MUNDT beschriebenen Anomalien beträgt aber weniger als 100 km. Diese kleinräumigen Anomalien müßten also andere Ursachen haben.

MUNDT (1978) erwähnt in seiner Arbeit, daß im westlichen Erzgebirge vertikale (-1.5 bis +2.5 mm/a) sowie horizontale Schollenbewegungen (etwa 5 bis 8 mm/a) beobachtet worden sind (THURM, 1971, 1974). An der gleichen Stelle findet er eine SV-Anomalie von etwa 8 nT/a. Ob es an der Stelle der SV-Anomalie in Thüringen ebenfalls eine Bodenbewegung gibt, ist nicht bekannt. Sowohl im Erzgebirge als auch in Thüringen wird bzw. wurde Bergbau getrieben.

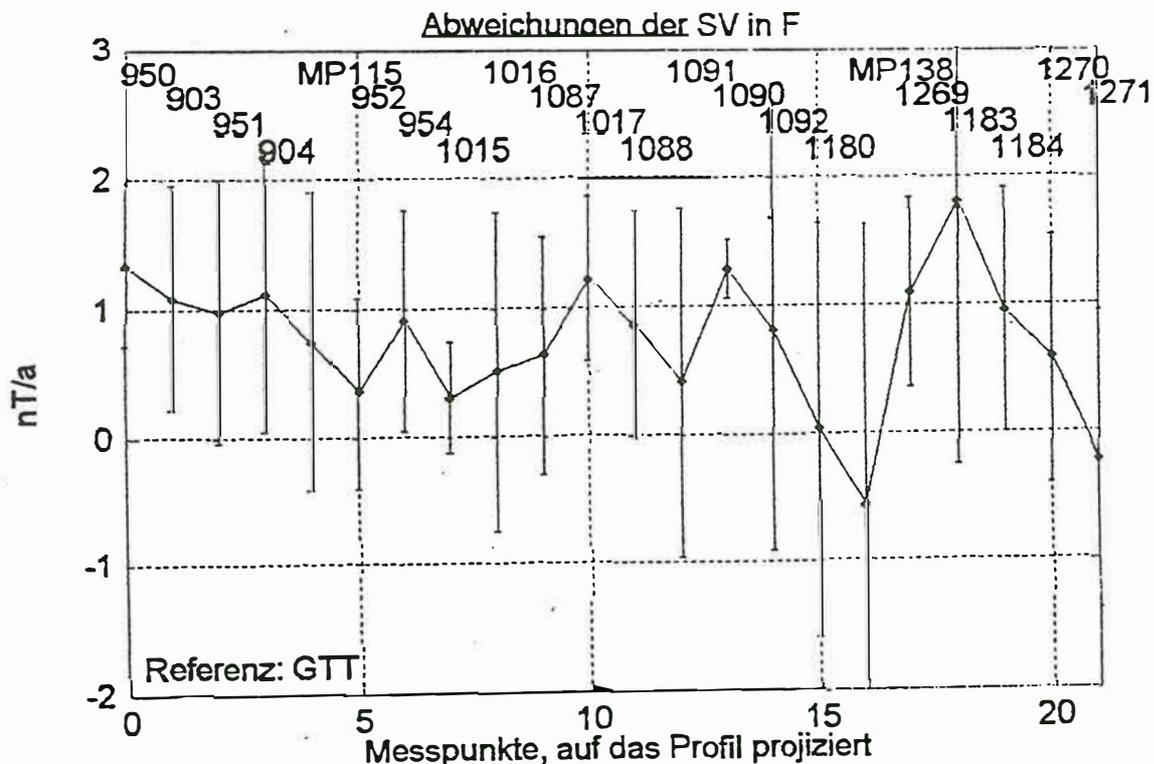


Abb. 8: Abweichungen der SV von der SV in GTT mit Angabe der Fehler (rms) an jeder Station, die senkrecht auf das Profil projiziert wurde. Zur Vereinfachung der Darstellung sind die Abstände der Stationen auf dem Profil als gleich angenommen worden.

Abhängig von der Bezugsstation wurde in Thürigen 4 bzw. 3 Jahre gemessen. Es wurden sehr kleine Abweichungen von der SV in der weiteren Umgebung festgestellt. Es ist nicht auszuschließen, daß auch diese Abweichungen den immer vorhandenen Meß- und Auswertefehlern zuzurechnen sind. Es bedarf sicher eines größeren Aufwandes (2. Protonenmagnetometer, verfeinerten Auswertungsmethoden), um sicherzustellen, daß nach einigen weiteren Meßjahren die aus gemessenen Werten berechnete SV-Anomalie signifikant größer ist als die Meß- und Auswertefehler.

7 Danksagung

Die Untersuchung der Anomalie in Thüringen wäre nicht ohne wissenschaftliches Material und Mitarbeit der Kollegen in NGK möglich gewesen, wie auch die studentischen Hilfskräfte in Göttingen unverzichtbar waren beim Messen und Auswerten. Ihnen gebührt mein besonderer Dank. Ebenso danke ich der Leitung des Institutes, der Werkstatt und vielen Kollegen, die mir mit Rat und Tat zur Seite standen. Die Untersuchung fand im Rahmen eines schon bestehenden DFG-Projektes "Erdmagnetfeld Göttingen" - Sp250/1 - statt. Für die Zeichnungen wurden die PC-Programme SURFER und WGNULOT eingesetzt.

8 Literatur

MUNDT, W.: Säkularreduktion der geomagnetischen Landesaufnahme der DDR zur Epoche 1957.5

Gerlands Beitr. Geophysik, Leipzig, 83, 2/3, 147 - 158, 1974

MUNDT, W.: Geomagnetic Secular Variations Anomalies in the GDR

J.Geomag.Geolectr. 30, 523-531, 1978

MUNDT, W.: Regionale und lokale Anomalien der geomagnetischen Säkularvariation im Randbereich der osteuropäischen Tafel

Z.geol.Wiss. Berlin, 9, 10, 1173-1178, 1981

THURM, H.: Ableitung von Gradienten rezenter vertikaler Erdkrustenbewegungen für das Gebiet der DDR

Peterm. Geogr. Mitt., H. 2, 124-129, 1971

THURM, H.: Horizontale Dislokationen und Deformationen in der Elbtalzone

NKGG-Veröff., Reihe III, H. 35, 6-20, 1974