

Oliver Ritter

Kalibrierung von Metronix MFS05 Induktionsspulenmagnetometern

Einleitung

Die Induktionsspulenmagnetometer MFS05 der Firma Metronix sind laut Handbuch¹ über einen extrem breiten Frequenzbereich ($8\text{ kHz} - 4000\text{ s}$) spezifiziert. Genaue Angaben über die Sensorübertragungsfunktion sind im Manual allerdings nicht enthalten. Man findet lediglich eine Formel für den theoretischen Kurvenverlauf und eine Tabelle mit typischen Werten, die für alle Geräte gültig sein soll.

Das GeoForschungsZentrum Potsdam hat 1993 30 dieser Spulen für den geophysikalischen Gerätepool angeschafft, und diese anschließend hauptsächlich mit PDAS Datenloggern verwendet, um MT Daten zwischen $25\text{ Hz} - 4000\text{ s}$ zu registrieren. Erst seit 1995 steht am GFZ auch eine S.P.A.M. MkIII Apparatur zur Verfügung, mit der AMT Daten bis 2 kHz registriert werden können. Nachdem die ersten S.P.A.M. MkIII Ergebnisse unerwartete Effekte bei den höchsten Frequenzen zeigten, war es naheliegend, einmal tatsächliche Übertragungsfunktionen für die Magnetometer zu bestimmen.

Zu diesem Zweck konnten wir in Zusammenarbeit mit dem britischen N.E.R.C. Geophysical Equipment Pool die ausgezeichneten Meßeinrichtungen des C.N.R.S. in Garchy (Frankreich) benutzen. Die Ergebnisse, die in diesem Beitrag zusammengestellt sind, zeigen, daß eine solche Bestimmung der Übertragungsfunktion längst überfällig war. Nicht nur bestehen erhebliche Unterschiede zwischen einzelnen Sensoren, sondern wir mussten auch feststellen, daß die Induktionsspulen im Frequenzbereich $800\text{ Hz} - 8000\text{ Hz}$ starke Resonanzeffekte aufweisen. Metronix hat dies mittlerweile bestätigt und sich zu einer baulichen Modifikation der Sensoren entschlossen, die diese Effekte weitgehend unterdrückt.

Der Kalibrierversuch

Abbildung 1 zeigt den Versuchsaufbau zur Bestimmung der Übertragungsfunktionen von Induktionsspulen in Garchy. Die Kalibriersignale werden mit Hilfe eines Solatron 1250 response frequency analysers generiert und analysiert. Die Kalibrierspule und die zu eichende Spule sind in einer speziellen Meßhütte untergebracht, die sich in einer Entfernung von ca. 25 m vom Labor befindet. Die Amplitude des Kalibrierfeldes wird über den Widerstand R_i gesteuert.

Die MFS05 Induktionsspulen arbeiten als rückgekoppeltes System, bei dem das Ausgangssignal über eine interne Feedbackspule wieder auf die Hauptspu-

¹METRONIX, Broadband Induction Coil Magnetometer MFS05, Hardware Description and Operating Manual.

① Transfer function:

- Amplitude $\sigma(f)$ (mV/nT)
- Phase $\varphi(f)$ (°)

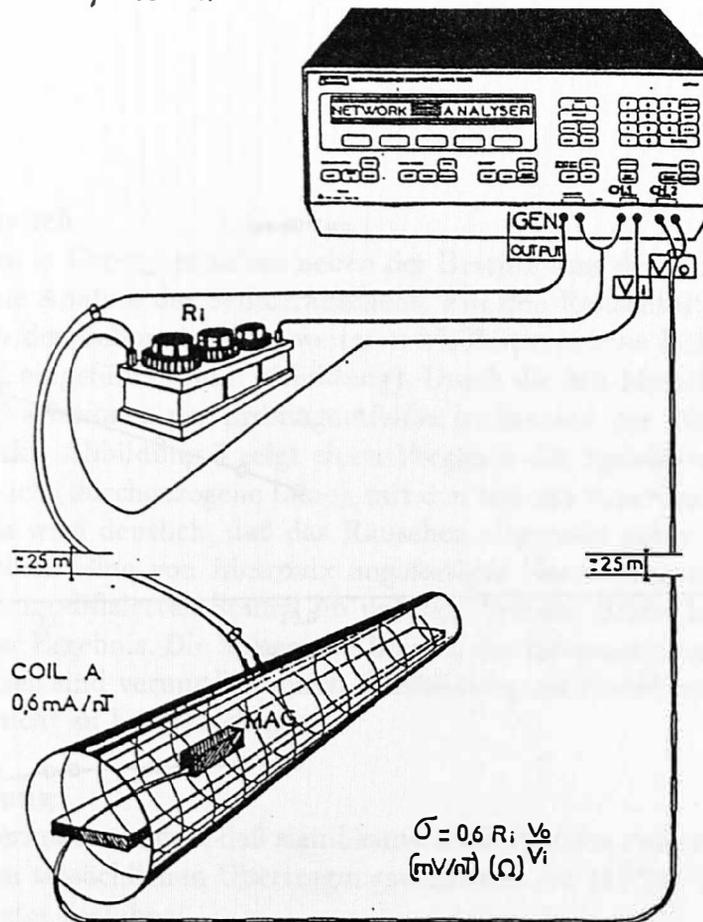


Abbildung 1: Die Meßanordnung zur Kalibrierung der Induktionsspulen in Garchy.

le zurückgeführt wird. Der Rückkopplungskreis ist für Frequenzen größer 4 Hz geschlossen. Diese Maßnahme bewirkt ein etwa konstantes Ausgangssignal von 800 mV/nT für die hohen Frequenzen. Bei niedrigen Frequenzen dagegen zeigen die Amplituden der Übertragungsfunktion ein Verhalten von 1/f. Hoch- und niederfrequente Bereiche werden daher getrennt kalibriert.

Die getesteten Spulen haben die Seriennummern 031993054 und 029993054. In den Abbildungen 2 und 3 sind die ermittelten Übertragungsfunktionen für tiefe und hohe Frequenzen dargestellt. Aus Zeitgründen sind die Messungen für die tiefen Frequenzen (1 Hz – 0.001 Hz) nur für eine Spule durchgeführt worden. Die Eichresultate (Kreise) bestätigen aber in diesem Bereich im wesentlichen die Angaben aus dem Handbuch (durchgezogene Linie). Für den Frequenzbereich 800 Hz – 8000 Hz in Abbildung 3 weichen die Ergebnisse hingegen bei beiden Sensoren so stark von den Sollkurven ab, daß sie für diesen Frequenzbereich unbrauchbar sind.

Metronix hat inzwischen unser Ergebniss mit eigenen Messungen prinzipiell bestätigt und als Grund für dieses Verhalten eine unzureichende Schirmung des inneren Spulenkörpers von der äußeren Feedback-spule angegeben. Nach einer entsprechenden baulichen Veränderung sind die Übertragungsfunktionen der Spulen von Metronix neu vermessen worden, die Ergebnisse für die beiden Test-

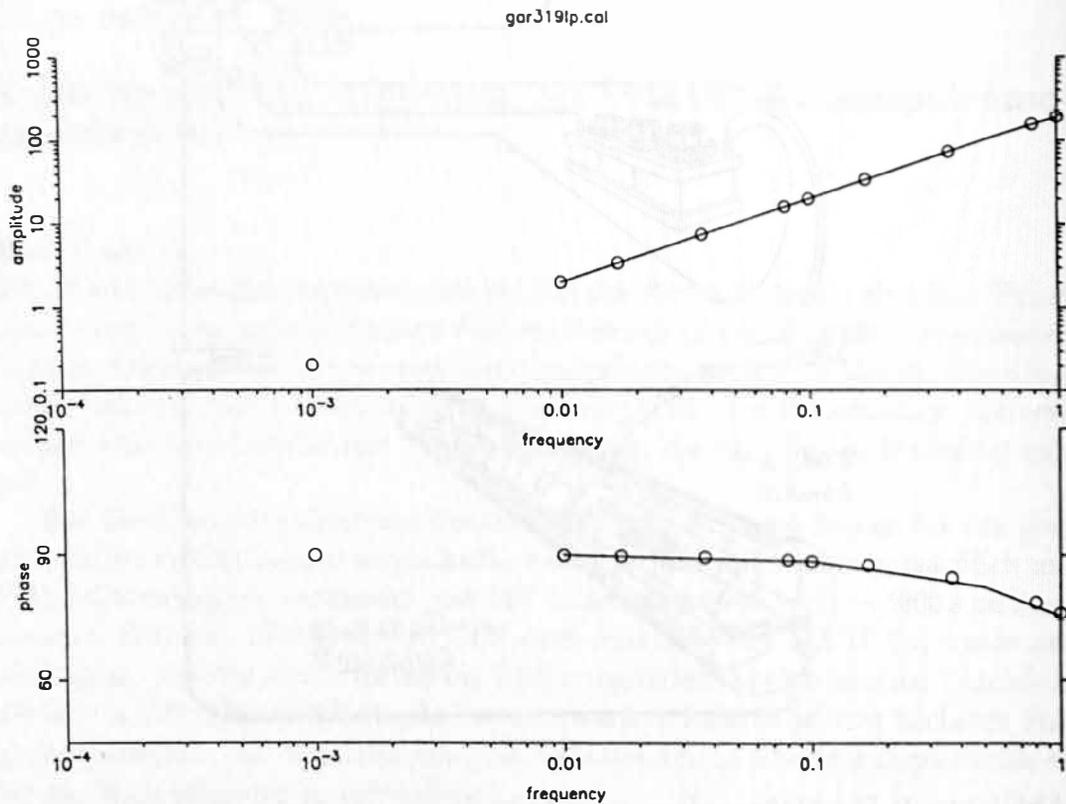


Abbildung 2: Die Übertragungsfunktion der Spule 31 im langperiodischen Bereich. Die gemessenen Werte (Kreise) stimmen gut mit den typischen Werten (durchgezogene Linie) aus dem Handbuch überein. Die Amplitude ist in mV/nT angegeben.

spulen sind in Abbildung 4 dargestellt. Die neuen Kurven sind deutlich besser, allerdings ist der Amplitudengang ab 800 Hz frequenzabhängig und die Bereiche der Resonanzstellen sind noch deutlich erkennbar. Es ist klar zu sehen, daß sich die beiden Spulen unterschiedlich verhalten.

Metronix hat inzwischen sämtliche Induktionsspulen des GFZs repariert und dabei die Übertragungsfunktionen jeweils vorher und nachher bestimmt. Es besteht somit zumindest die Möglichkeit alte Datensätze nachzuprozessieren. Die alten und neuen Kalibrierdaten können über das World Wide Web abgerufen werden: <http://www.gfz-potsdam.de/pg2/ab3/mt>.

Bisher gab es für uns allerdings noch keine Möglichkeit die von Metronix neu bestimmten Eichwerte nachzumessen. Gegenwärtig überprüfen wir aber, ob die Eichenanlage des geomagnetischen Observatoriums in Niemegk zur Kalibrierung von Induktionsspulenmagnetometern eingesetzt werden kann.

Der Rauschversuch

Die Einrichtungen in Garchy erlauben neben der Bestimmung der Übertragungsfunktion auch eine Analyse des Sensorrauschens. Für den Rauschtest werden die Spulen außerhalb des Labors in einer weiteren Meßhütte in eine Röhre aus drei Lagen Mu-Metall eingeführt (ohne Abbildung). Durch die Mu-Metall Schirmung werden zeitliche Variationen des Erdmagnetfeldes im Inneren der Röhre weitestgehend unterdrückt. Abbildung 5 zeigt einen Vergleich des *typischen* Rauschens nach dem Handbuch (durchgezogene Linie), mit den von uns experimentell ermittelten Werten. Es wird deutlich, daß das Rauschen allgemein höher ist, als von Metronix angegeben. Eine von Metronix angefertigte Korrelationsanalyse zwischen den beiden modifizierten Spulen im unteren Teil des Bildes bestätigt im wesentlichen unser Ergebnis. Die Spitzen im Bereich der Harmonischen der Bahn- und Netzfrequenzen sind vermutlich durch Einstreuung auf Kabel oder Platinen entstanden und nicht zu berücksichtigen.

Zusammenfassung

Die Kalibrierexperimente zeigen, daß signifikante Diskrepanzen zwischen dem erwarteten und dem tatsächlichen Übertragungsverhalten der MFS05 Induktionsspulenmagnetometer bestehen:

- Die Übertragungsfunktionen der getesteten MSF05 Spulen wiesen so starke Verzerrungseffekte zwischen 800 Hz – 8000 Hz auf, daß geophysikalische Messungen in diesem Frequenzband nicht möglich waren. Mittlerweile scheint dieses Fehlverhalten durch eine bauliche Modifikation der Spulen weitgehend behoben zu sein.
- Das Frequenzverhalten der untersuchten MSF05 Spulen ist nicht identisch. Diese Unterschiede können jetzt aber numerisch korrigiert werden, da mittlerweile Kalibrierdaten für jede einzelne Spule vorliegen.
- Das Rauschen der Spulen ist höher als angegeben, besonders an den beiden Enden des vermessenen Frequenzspektrums.

Danksagung

Mein Dank gebührt Gerard Clerc und Pierre Marquis für die intensive Betreuung während der gesamten Dauer der Versuche. Der hohe technische Standard der Meßeinrichtungen in Garchy und der gute Zustand der Geräte sind beispielhaft. 'Val' Valiant und dem N.E.R.C. Geophysical Equipment Pool bin ich dankbar für die Organisation des Treffens und der aktiven Mitarbeit bei den Experimenten.

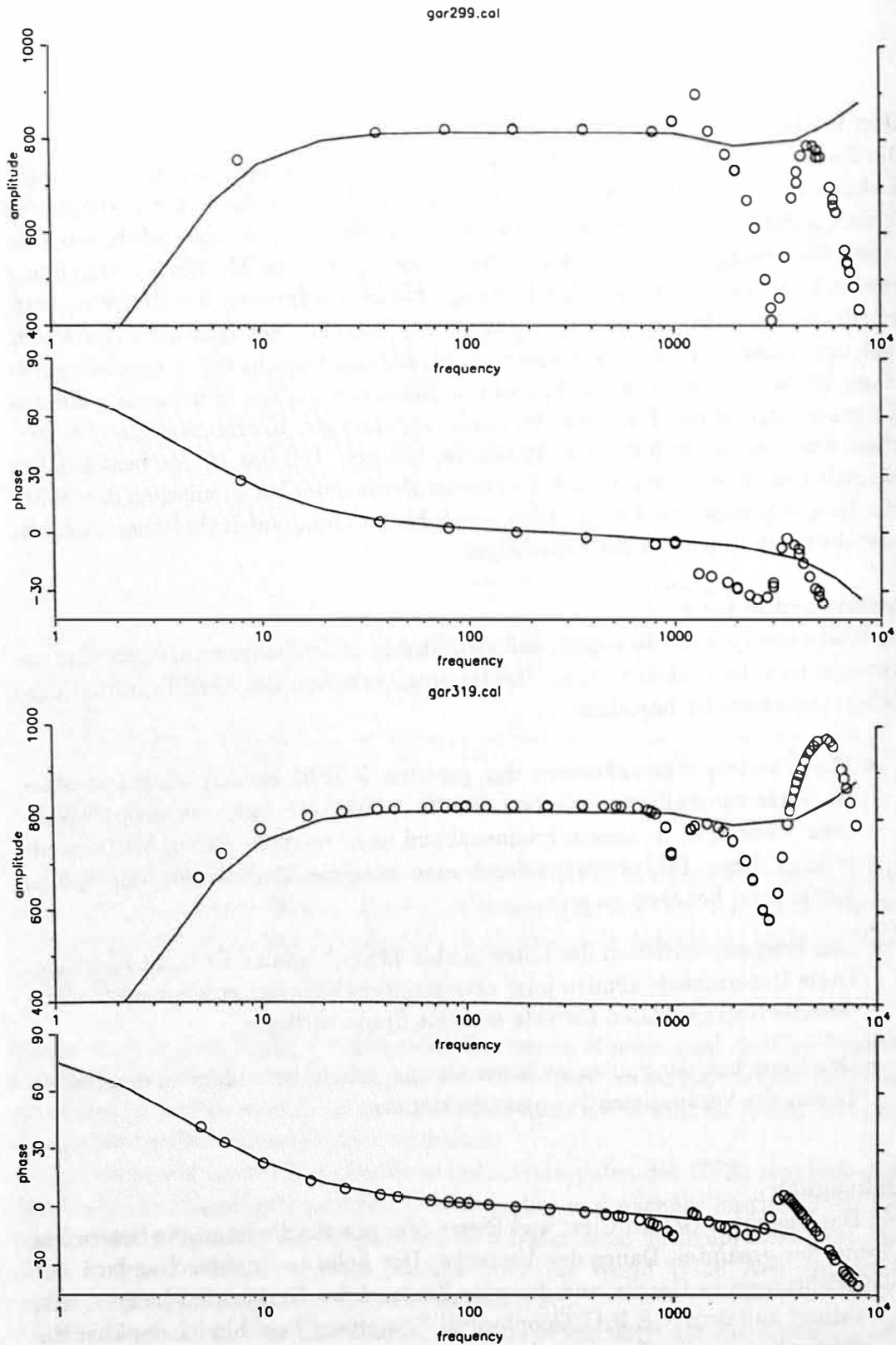


Abbildung 3: Übertragungsfunktionen der Spulen 29 (oben) und 31 (unten). Zwischen 4 Hz und 8000 Hz weichen beide Spulen stark von den Sollkurven (durchgezogene Linien) ab. Die beiden Spulen zeigen unterschiedliche Übertragungsverhalten. Die Amplitude ist in mV/nT angegeben.

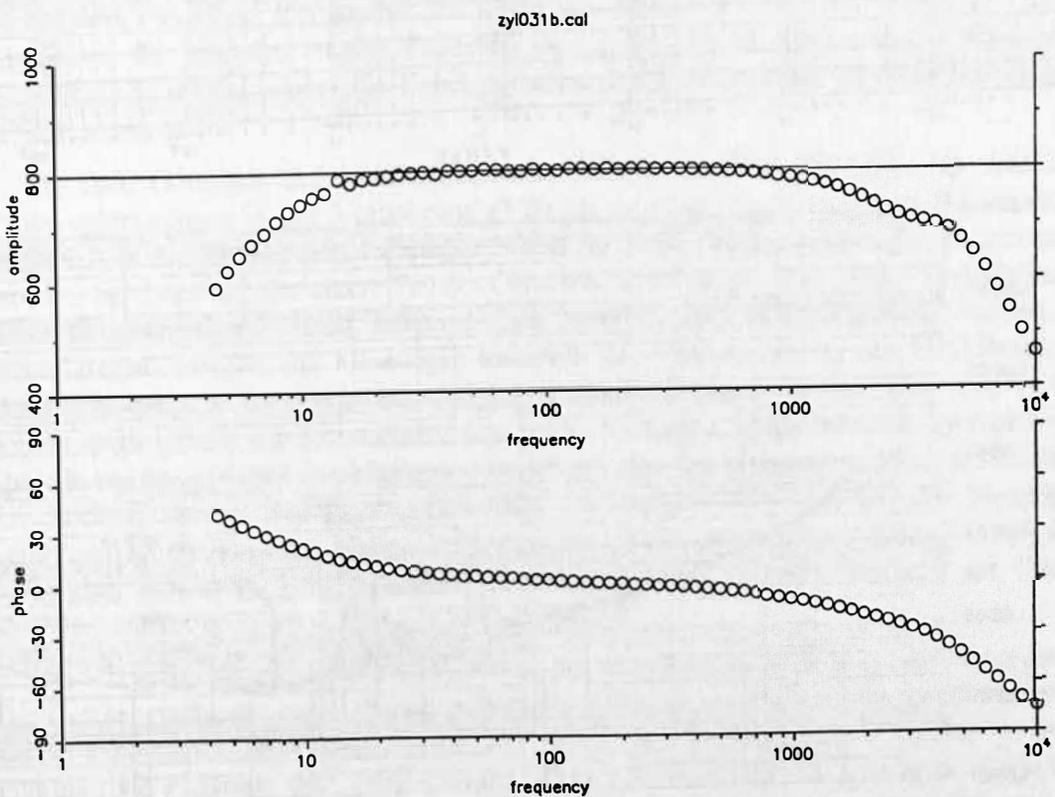
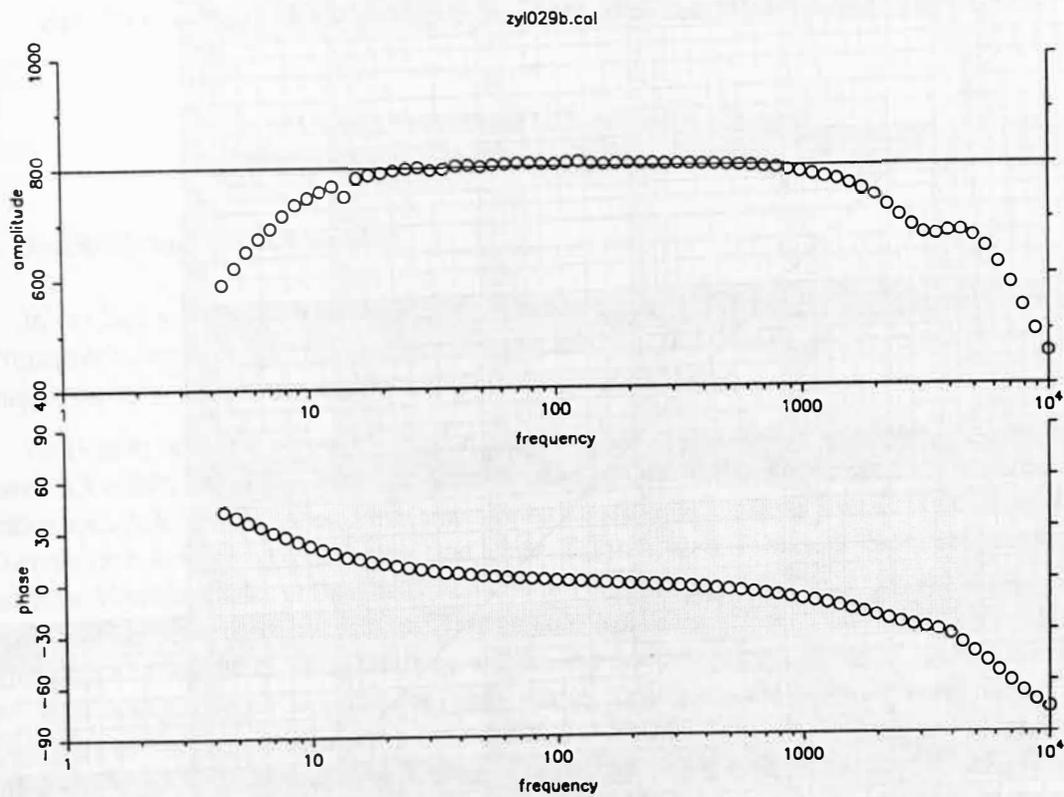


Abbildung 4: Nach Modifikation der Spulen sind die Resonanzeffekte stark vermindert. Die Übertragungsfunktionen der Spulen (Nr. 29 oben, Nr. 31 unten) sind aber weiterhin deutlich unterschiedlich. Die Amplitude ist in mV/nT angegeben.

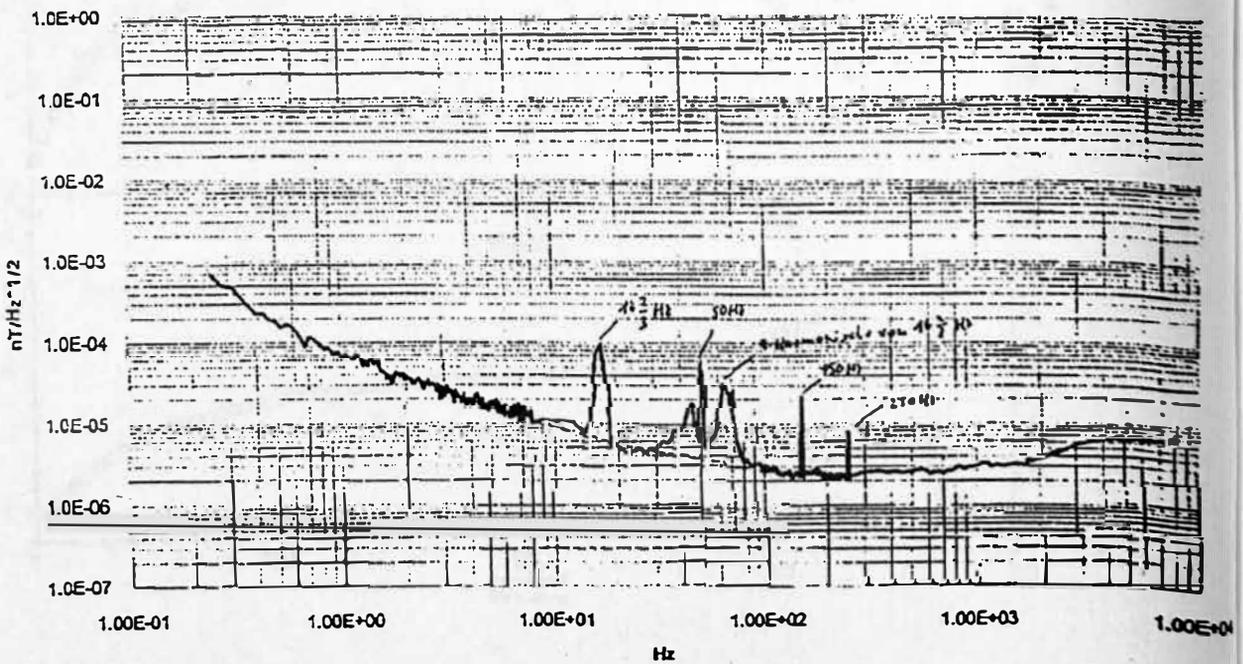
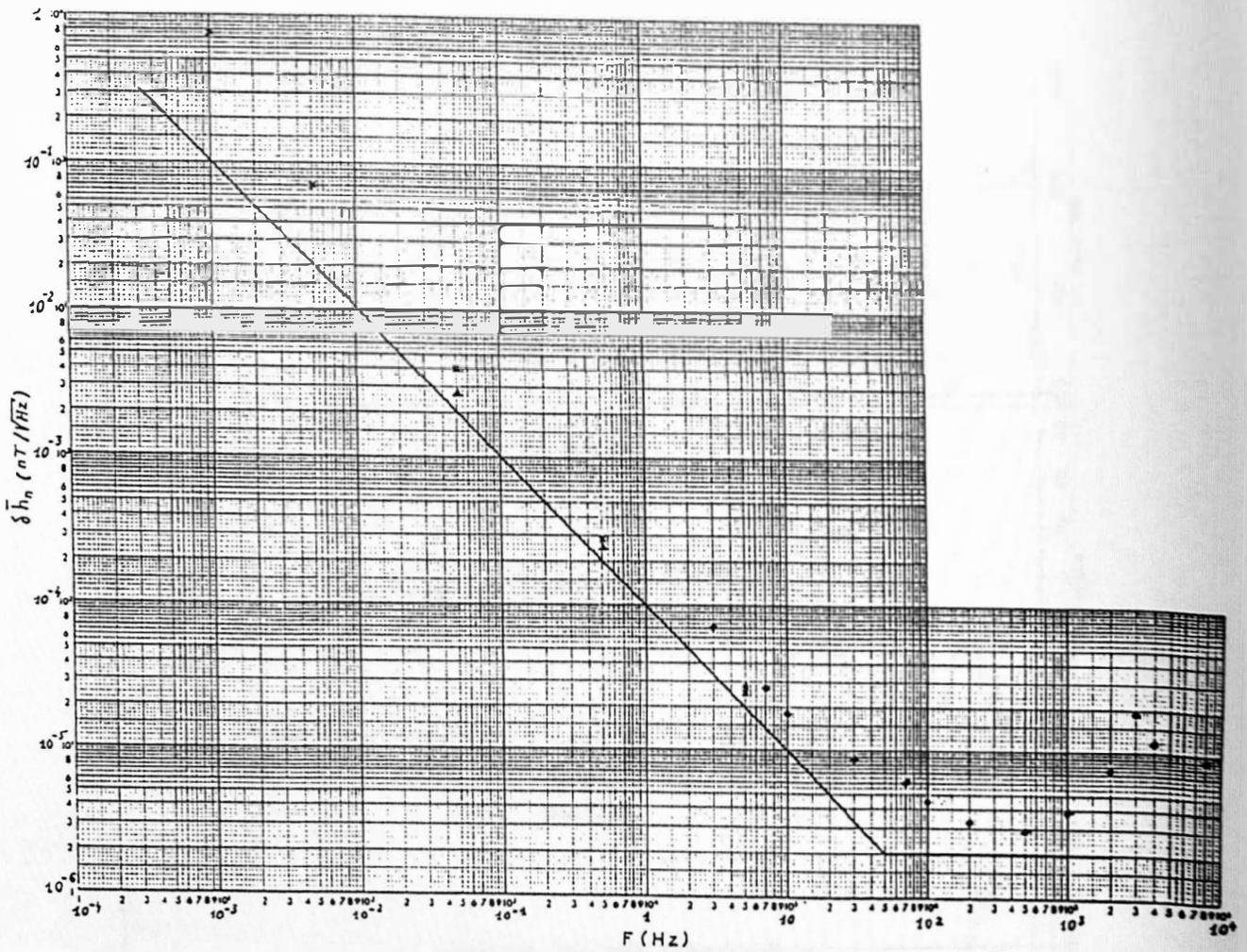


Abbildung 5: Vergleich von Ergebnissen zur Bestimmung des Rauschens der Induktionsspulen. Das obere Diagramm zeigt die in Garchy ermittelten Meßwerte zusammen mit den dem Handbuch entnommenen typischen Werten (Linie). Unterschiedliche Symbole bezeichnen wiederholte Messungen. Die Abbildung unten zeigt Daten der beiden modifizierten Spulen von Metronix.