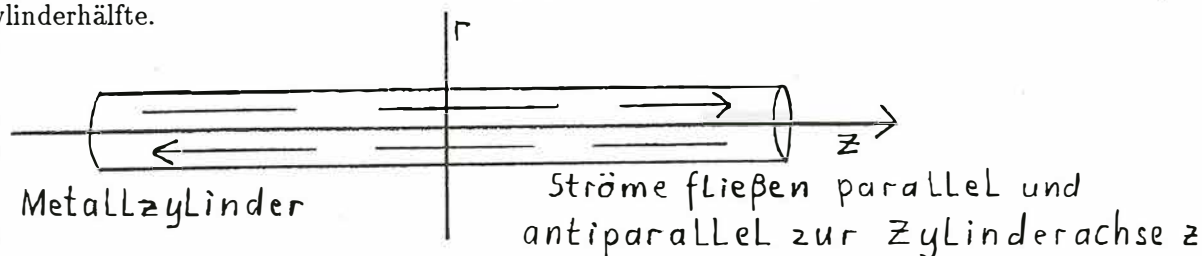


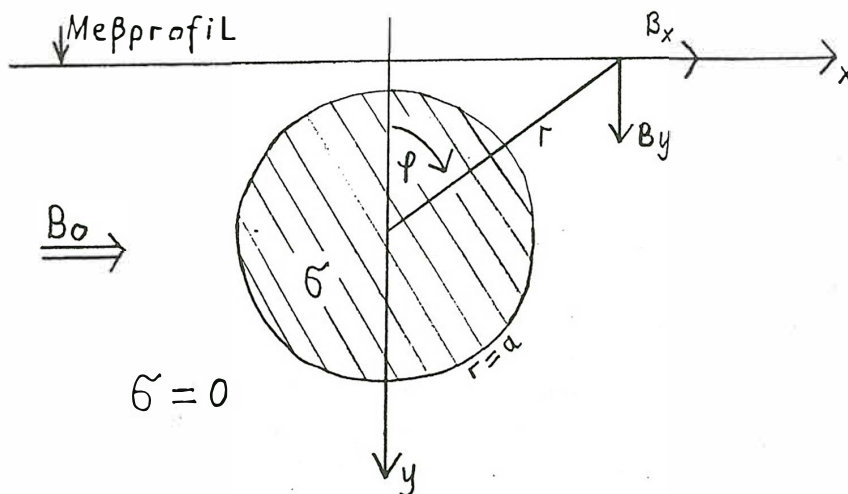
# Analogmodell zur erdmagnetischen Tiefensondierung

Michael Erfmann, Göttingen

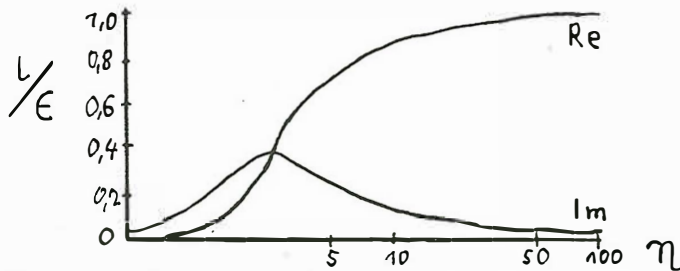
Modellversuche können die natürlichen Verhältnisse nur unvollkommen wiedergeben, wenn die Induktion durch räumlich ausgedehnte Felder erfolgen soll, die im Bereich von Leitfähigkeitsanomalien quasi-homogene Normalfelder in horizontaler Richtung erzeugen. In meinem Modellversuch wird eine solche Anomalie durch einen Metallzylinder aus einer Aluminiumlegierung dargestellt. Das induzierende Magnetfeld wird durch eine Helmholtzspule erzeugt, in deren Inneren sich der Zylinder befindet. Dieser ist 75cm lang, besitzt einen Radius  $a$  von 4cm und hat eine Leitfähigkeit  $\sigma$  von  $21 \cdot 10^6 S/m$ . Der Radius der Helmholtzspule beträgt 50cm, so daß man ihren Homogenitätsbereich als genügend groß ansehen darf gegenüber dem Zylinderradius. Das Spulenfeld ist senkrecht zur Zylinderachse. Im zentralen Bereich fließen die induzierten Ströme parallel zur Zylinderachse mit entgegengesetzter Richtung in der oberen und unteren Zylinderhälfte.



Da sich der Zylinder in nicht-leitender Luft befindet, fehlt im Magnetfeld der in der Natur stets vorhandene induzierte Normalanteil für ein geschichtetes Erdmodell. In diesem Sinn ist das Spulenfeld als Summe des ionosphärischen äusseren Quellenfeldes und seines normalinduzierten inneren Feldes zu verstehen. Man kann sich das so vorstellen, daß sich der Zylinder als gutleitende Anomalie in einer hochohmigen Einbettung über besser leitenden Erdschichten in sehr großer Tiefe im Vergleich zu  $a$  befindet. Näheres über den Modellaufbau ist nachzulesen in der Diplomarbeit Spitta (1963). Die Messung erfolgt längs eines Profils 7mm oberhalb des Zylinders quer zu dessen Achse und in der Zylindermitte.



Gemessen werden die Magnetfeldkomponenten  $B_x$  und  $B_y$ , wie in der Skizze angegeben, mittels zweier Induktionsspulen. Anders als in der genannten Diplomarbeit wird nicht mehr ihre Amplitude und Phase (bezüglich dem Spulenfeld  $B_0$ ) aufgezeichnet, sondern ihre phasengleichen (Realteil) und  $90^\circ$  phasenverschobenen (Imaginärteil) Anteile. Ausserhalb des Zylinders ist das Magnetfeld der induzierten Ströme näherungsweise ein 2-dimensionales Dipolfeld, wenn die Zylinderlänge groß ist gegenüber dem Zylinderradius. Die zum Gesamtfeld  $\underline{B} = -\text{grad}U$  gehörige Potentialfunktion lautet  $U_{(r,\varphi)} = -a\{\epsilon(r/a) + \iota(a/r)\}\sin\varphi$  mit  $\epsilon = B_0$  als Potentialkoeffizient des induzierenden Feldes und  $\iota$  als Potentialkoeffizient des induzierten Feldes.



Für das Verhältnis der Potentialkoeffizienten gilt (Kertz, 1960 Gl.38)  $\iota/\epsilon = I_2(u)/I_0(u)$  mit  $u = \sqrt{i}\eta$ . Dabei bezeichnet  $I_m$  die modifizierte Besselfunktion m-ter Ordnung erster Art und  $\eta = a\sqrt{\omega\mu_0\sigma}$  den so definierten Induktionsparameter für den Zylinder.

Die in Abb.1 gezeigten Meßkurven beziehen sich auf eine Frequenz von 80 Hz und somit auf einen Induktionsparameter  $\eta = 4,6$ . Das zugehörige Potentialverhältnis ist  $\iota/\epsilon = 0,68 + 0,25i$ .

Der experimentelle Aufbau ist in Abb.2 dargestellt :

Ein Funktionsgenerator erzeugt ein Sinussignal, welches durch den Leistungsverstärker verstärkt wird. Der sinusförmige Strom ( $\leq 250\text{mA}$ ) durchfließt die Helmholtzspule und erzeugt das induzierende magnetische Wechselfeld. Auf dem Profil 7mm über der Zylinderoberfläche ist die Sonde verschiebbar angebracht. Die gewünschten Meßpunkte werden von Hand eingestellt. Dieser Teil des Modellversuches einschließlich des Meßverstärkers wurde überarbeitet und entstört. Die Neuentwicklung bezieht sich auf die nachgeschalteten Elemente der Meßapparatur, welche in Abb.2 als Blockschaltbild dargestellt ist. Zwei Signalpfade sind nun zu betrachten.

1. Sondensignal: Zwei Sondenspulen, die senkrecht aufeinander stehen, registrieren das magnetische Feld in x- und y- Richtung. Die sondierten Magnetfelder liegen nun als Induktionsspannungen  $U_I$  vor. Am nachgeschalteten Meßverstärker wird wahlweise die x- bzw. y- Komponente verstärkt. Das verstärkte Sondensignal wird anschließend mit einem Amplitudeneinsteller auf einen gewünschten Pegel gebracht.

2. Referenzspannung: Am Widerstand R wird eine Spannung  $U_H$  abgegriffen, die proportional zum Strom in der Helmholtzspule ist. Diese Spannung wird nun auf einen Phasenschieber geleitet, der es ermöglicht, die Phasenverzögerung des Sondensignals zu kompensieren, welche allein durch die Elektronik zur Verstärkung des Sondensignals herrührt. Der Nulldurchgangsschalter erzeugt aus dem Sinussignal (Helmholtzsignal) eine Rechteckspannung von 0V für  $U_H \leq 0V$  und 5V für  $U_H > 0V$ . Unter Verwendung eines PLL-Bausteins (Phase-Locked-Loop  $\leftrightarrow$  Phasengeschlossene Schleife) wird die Frequenz um den Faktor 4 erhöht. Zwei programmierbare Frequenzteiler erzeugen aus dem PLL-Signal 2 Steuersignale  $U_{St}$ , die exakt  $90^\circ$  Phasenunterschied zueinander haben und frequenzgleich zur Referenzspannung sind. Der Analogschalter ist der Baustein, welcher das Sondensignal nur dann durchschaltet, wenn eine Steuerspannung  $U_{St}$  anliegt.

Abb.1: Messung von Real- und Imaginärteil

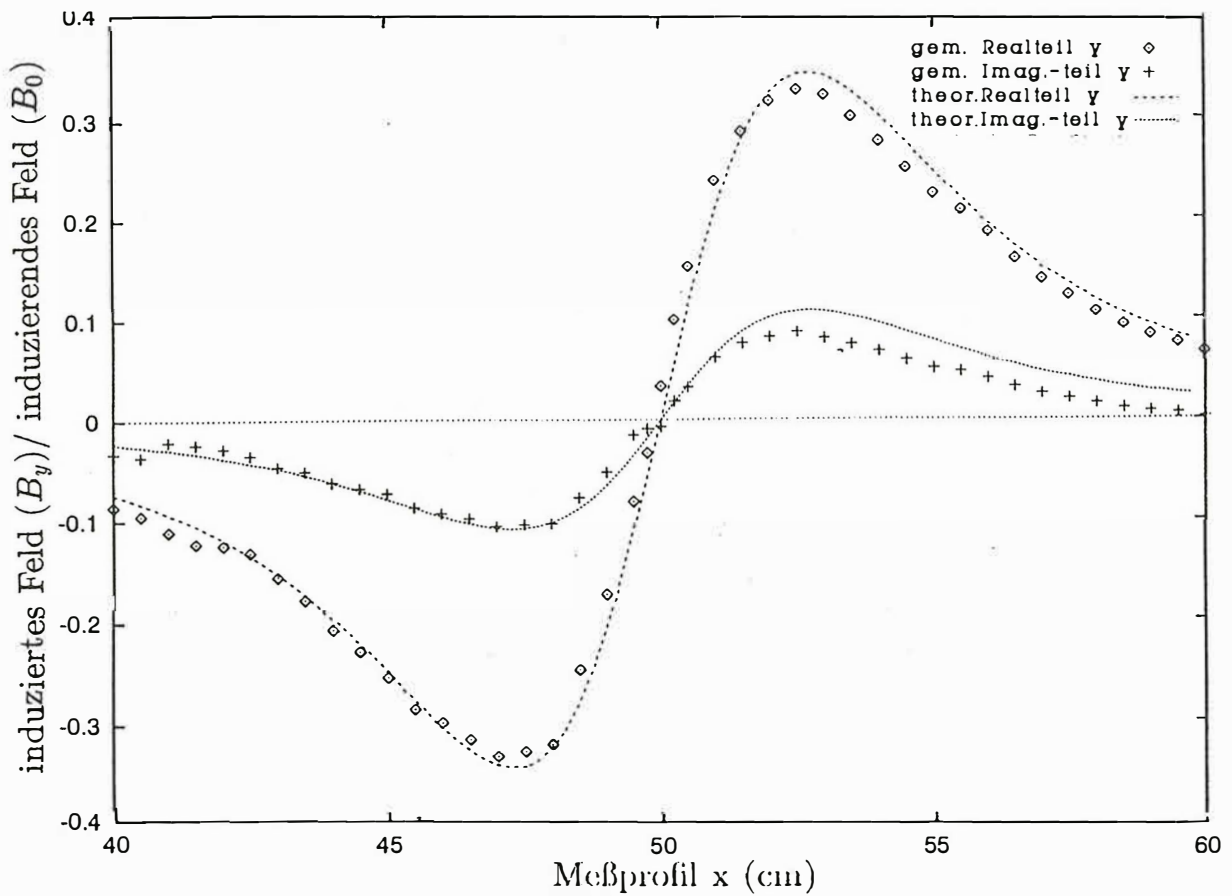
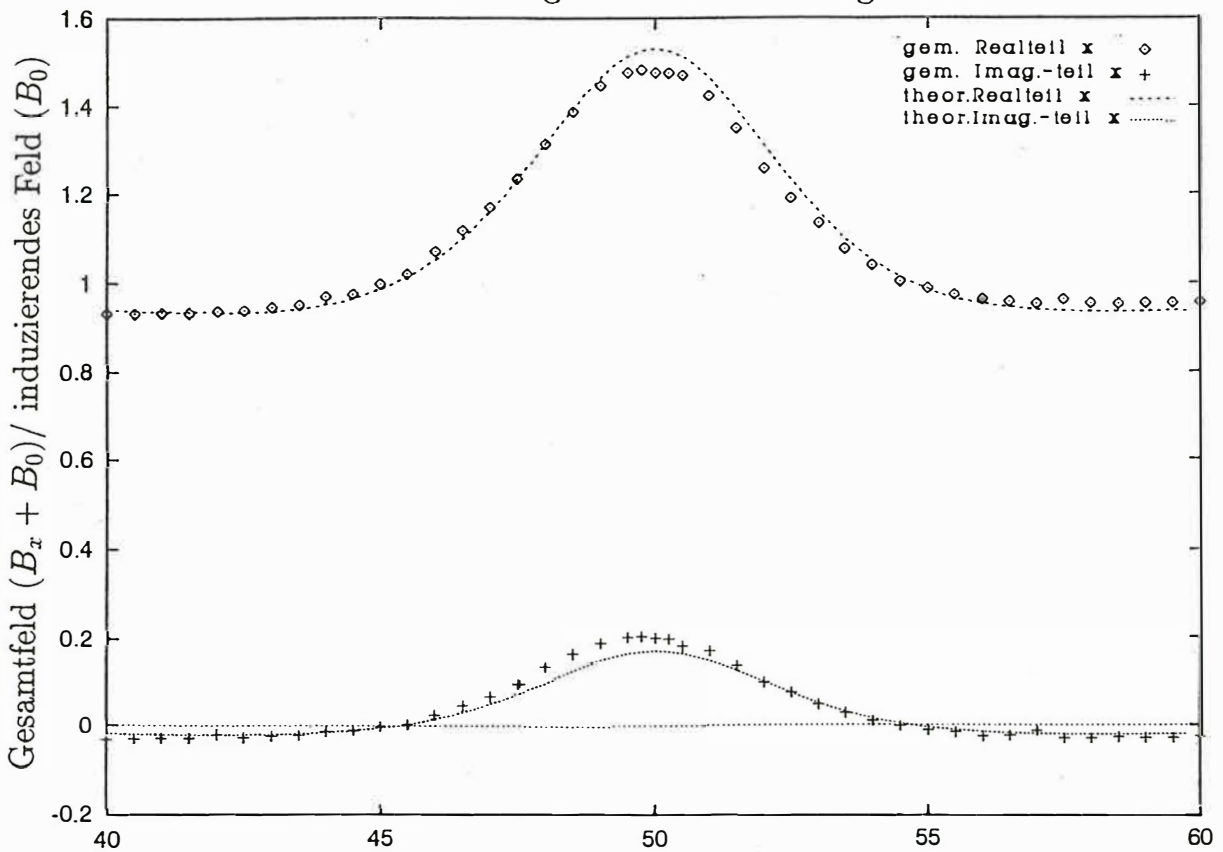
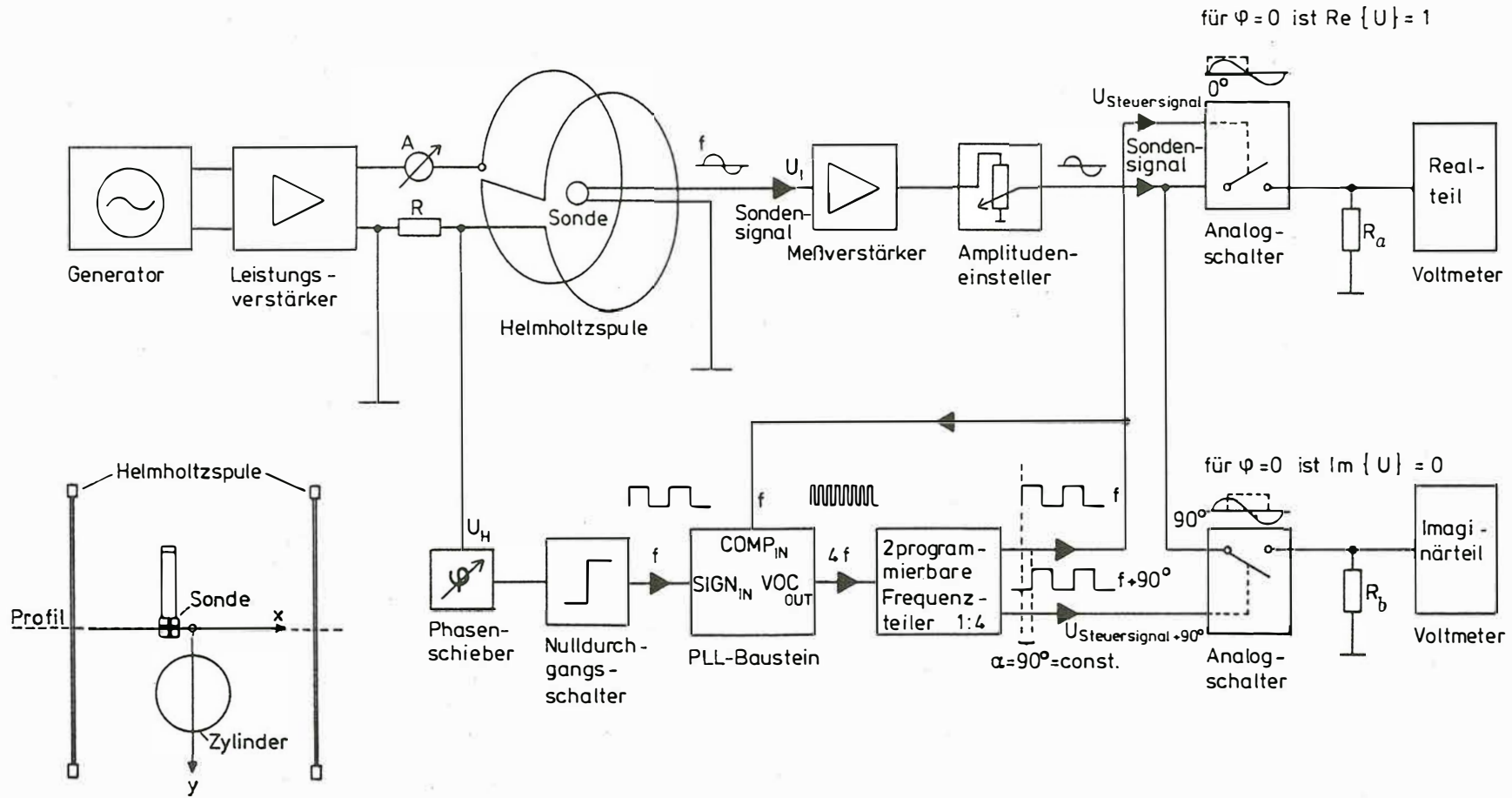


Abb.2: Das Blockschaltbild

Analogmodell zur erdmagnetischen Tiefensondierung

Messung von Amplitude und Phase über Real- und Imaginärteil (mit PLL-Baustein)

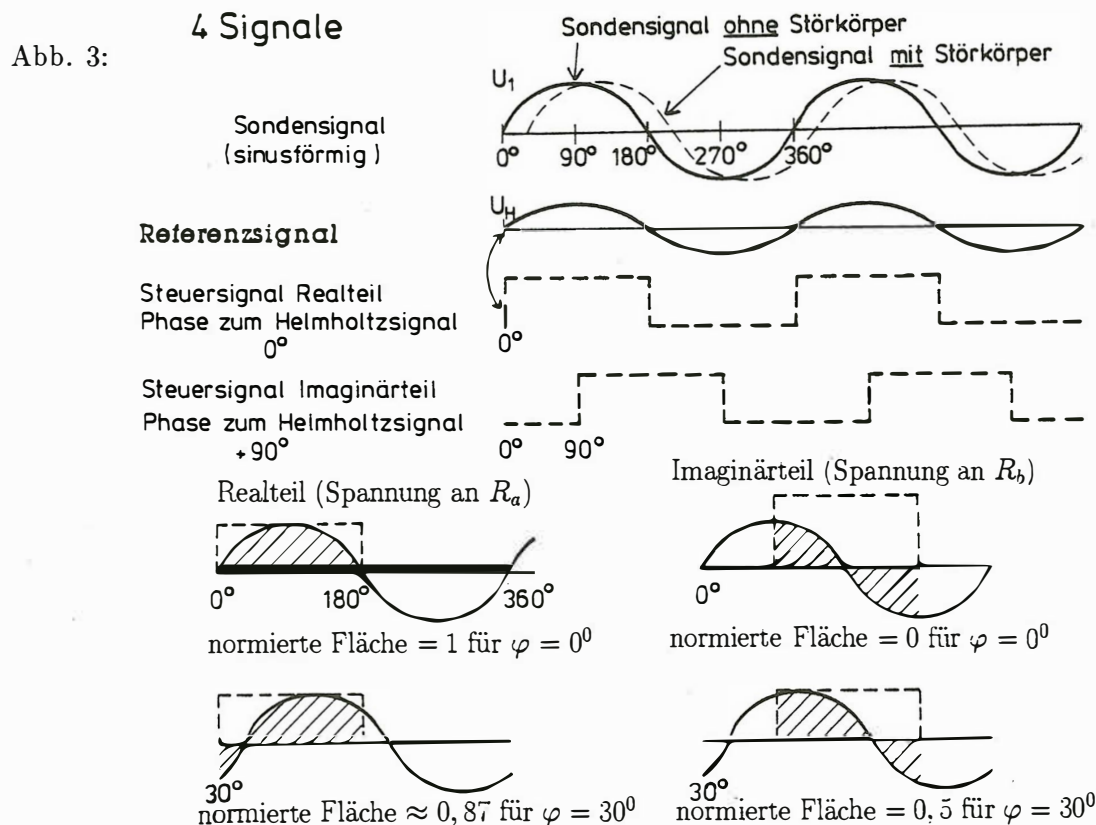


Das Meßverfahren:

Das Sondensignal ist somit ohne den Störkörper in der Helmholtzspule phasengleich mit dem Referenzsignal. Liegt der Zylinder in der Helmholtzspule, so bewirkt die Induktion in ihm eine Phasenverschiebung des Sondensignals und eine veränderte Amplitude. Aus der Steuerspannung  $U_H$ , die aus dem Referenzsignal abgeleitet ist, werden zwei Rechteckspannungen erzeugt. Eine Rechteckspannung hat  $0^\circ$  Phasenbezug zum Sondensignal ohne Störkörper. Die zweite ist um  $90^\circ$  verzögert. Der Analogschalter schaltet nur den Signalanteil vom Sondensignal durch, der unter dem Rechteckfenster liegt. Als Ergebnis wird das Sondensignal als Realteil am Widerstand  $R_a$  dargestellt, was einer normierten Fläche gleich 1 entspricht. Diese Fläche entspricht exakt dem arithmetischen Mittelwert der SONDENSIGNALSPANNUNG. Die angezeigte Fläche für den Imaginärteil wird gleich 0, da sich zwei gleichgroße Flächen mit entgegengesetztem Vorzeichen aufheben.

Aus Messung von Real- und Imaginärteil lassen sich Phase und Amplitude des Sondensignals ermitteln, wie in Abb. 3 gezeigt wird.

Es gilt:  $Amplitude = \sqrt{(Imaginärteil)^2 + (Realteil)^2}$   $Phase = \arctan\left(\frac{Imaginärteil}{Realteil}\right)$



Literatur

Kertz, W., 1960. Leitungsfähiger Zylinder im transversalen magnetischen Wechselfeld, Gerlands Beitr. Geophys., 69, 4-28.

Spitta, P., 1963. Modellversuche zur erdmagnetischen Induktion in Leitfähigkeitsanomalien, Diplomarbeit, Göttingen.