

# Praktikum 3

## Abhängigkeiten des B-Feldes<sup>1</sup>

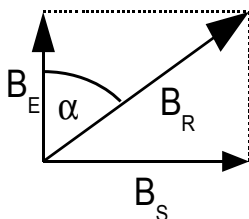
Untersucht wird, wovon das Magnetfeld einer Spule abhängt. Wir vermuten, dass B abhängt von:

- $I_{err}$  Stärke des Stromes, der durch die Spule fließt
- $n$  Anzahl der Windungen der Spule
- $l$  Länge der Spule

In unserem Versuchsaufbau untersuchen wir, wie ein Kompass, der sich in einer Spule befindet und nach dem Erdmagnetfeld ausgerichtet ist, seine Ausrichtung verändert (→ Zeichnung 1).

Die Spule ist senkrecht zum Verlauf des Erdmagnetfelds ausgerichtet, das Magnetfeld der Spule überlagert das der Erde und die Kompassnadel richtet sich nach dem daraus resultierenden Magnetfeld aus (→ Zeichnung 2).

Betrachtet man die Magnetfelder als Vektoren, so kann man die rechtwinklig aufeinander stehenden Vektoren  $B_{Erde}$  und  $B_{Spule}$  miteinander addieren.



Hier ist auch klar ersichtlich, dass

$$\tan(\alpha) = \frac{B_S}{B_E}$$

$B_S$ : Magnetfeld der Spule

$B_E$ : Magnetfeld der Erde<sup>2</sup>

Die Richtung des resultierenden

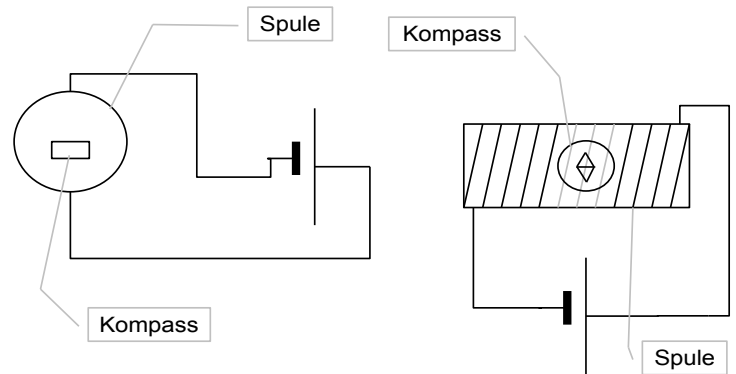
Magnetfelds steht im Winkel  $\alpha$  zur Richtung des Erdmagnetfelds.  $\alpha$  ist also die Ablenkung, die die Kompassnadel erfährt, wenn die Spule eingeschaltet wird.

In unseren Experimenten bedienen wir uns genau diesem Zusammenhang, weil wir nur  $\alpha$  messen können.

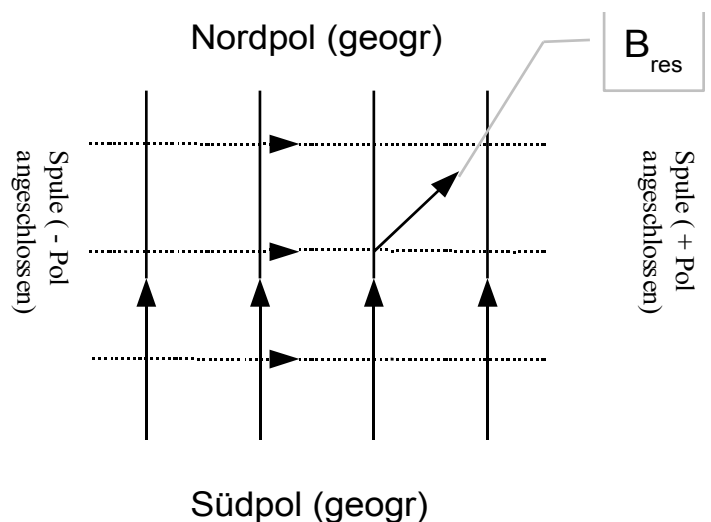
Die Magnetische Flussdichte in einer langen Spule berechnet sich folgendermaßen:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{I_{err} \cdot n}{l}$$

$\mu_0$ : Magnetische Feldkonstante oder Permeabilitätszahl mit  $\mu_0 \approx 1,2566 \cdot 10^{-6} \text{ VsA}^{-1}\text{m}^{-1}$



Zeichnung 1: Versuchsaufbau - links: Seitenansicht rechts: Draufsicht



Zeichnung 2: Überlagerung der Magnetfelder  $B_{Erde}$  und  $B_{Spule}$  und Resultierendes Magnetfeld

1 Magnetischen Feldes

2 Das Magnetfeld der Erde verläuft in Richtung des geographischen Nordpols, auch wenn der Magnetische Südpol ein wenig vom Geographischen Nordpol abweicht. Im Laufe der Zeit kann sich die Lage der magnetischen Pole verändern. Das Erdmagnetfeld entsteht vermutlich aufgrund eines Dynamoeffekts, den die Rotation des flüssigen Erdkerns und Bewegungen von Ladungen in ebendiesem verursachen. An der Erdoberfläche beträgt  $B_E \approx 20 - 30 \mu\text{T}$

Für die Beziehung zum Winkel  $\alpha$  gilt also:

$$\tan(\alpha) = \frac{\mu_0 \cdot \frac{I_{err} \cdot n}{l}}{B_E} \quad \text{da } \mu_0 \text{ und } B_E \text{ konstant sind, gilt: } \tan(\alpha) \sim \frac{I_{err} \cdot n}{l}$$

Wir untersuchten den Zusammenhang in vier Messreihen:

	$I_{err}$	$l$	$n$
Messreihe 1	0,2 A	variiert	32
Messreihe 2	2,5 A	variiert	32
Messreihe 3	variiert	25cm	32
Messreihe 4	variiert	27,5cm	70

Ergebnisse:

**Messreihe 1:**

$l$ [cm]	$\alpha$ [°]	$\tan(\alpha)$	$l * \tan(\alpha)$
15	69	2,60509	39,08
20	55	1,42815	28,56
25	53	1,32704	33,18
35	45	1,00000	35,00

**Messreihe 2:**

$l$ [cm]	$\alpha$ [°]	$\tan(\alpha)$	$l * \tan(\alpha)$
14	75	3,73205	52,25
20	76	4,01078	80,22
24,5	73	3,27085	80,14
30	72	3,07768	92,33
35	74,6	3,63048	127,07

**Messreihe 3:**

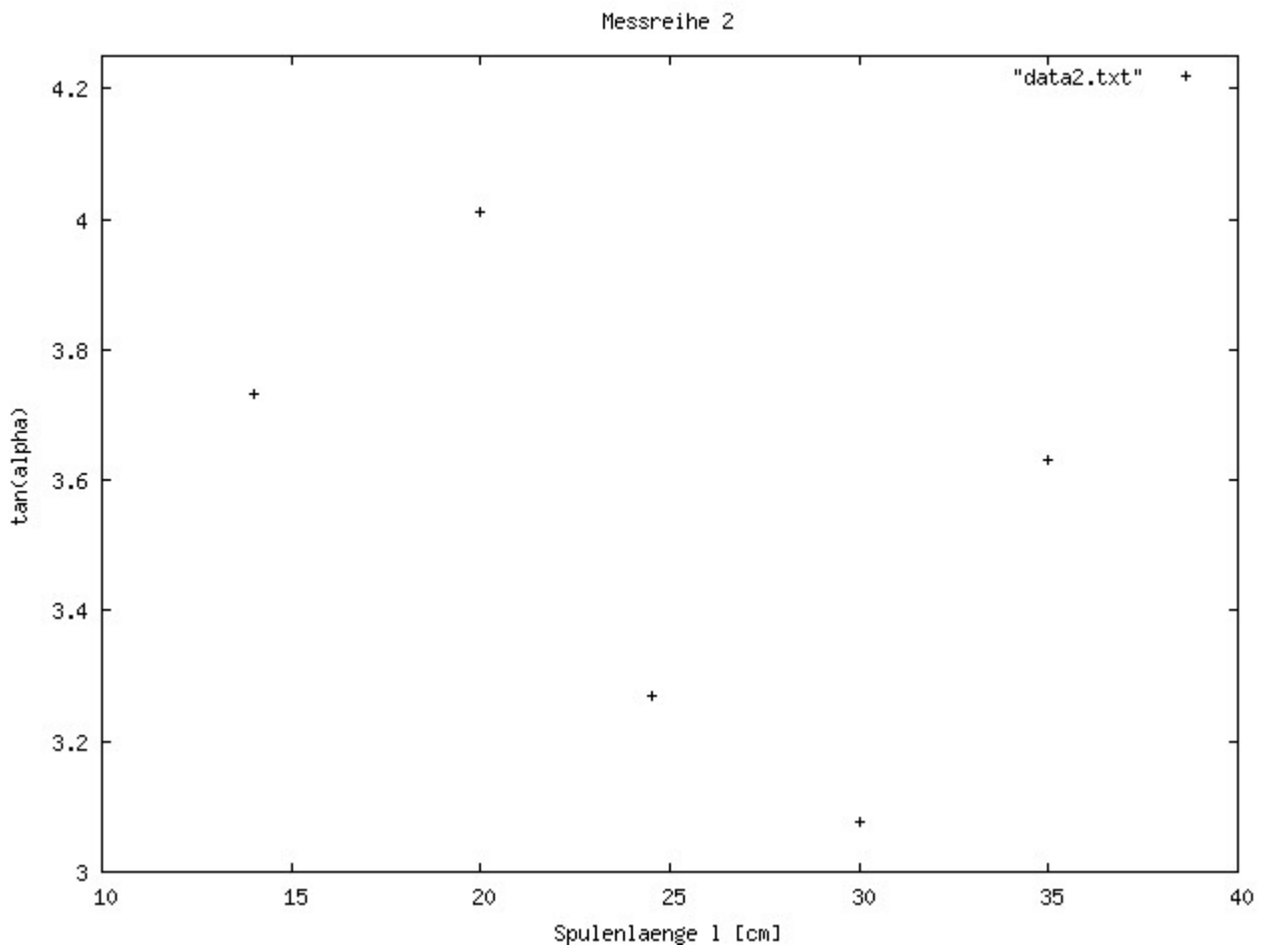
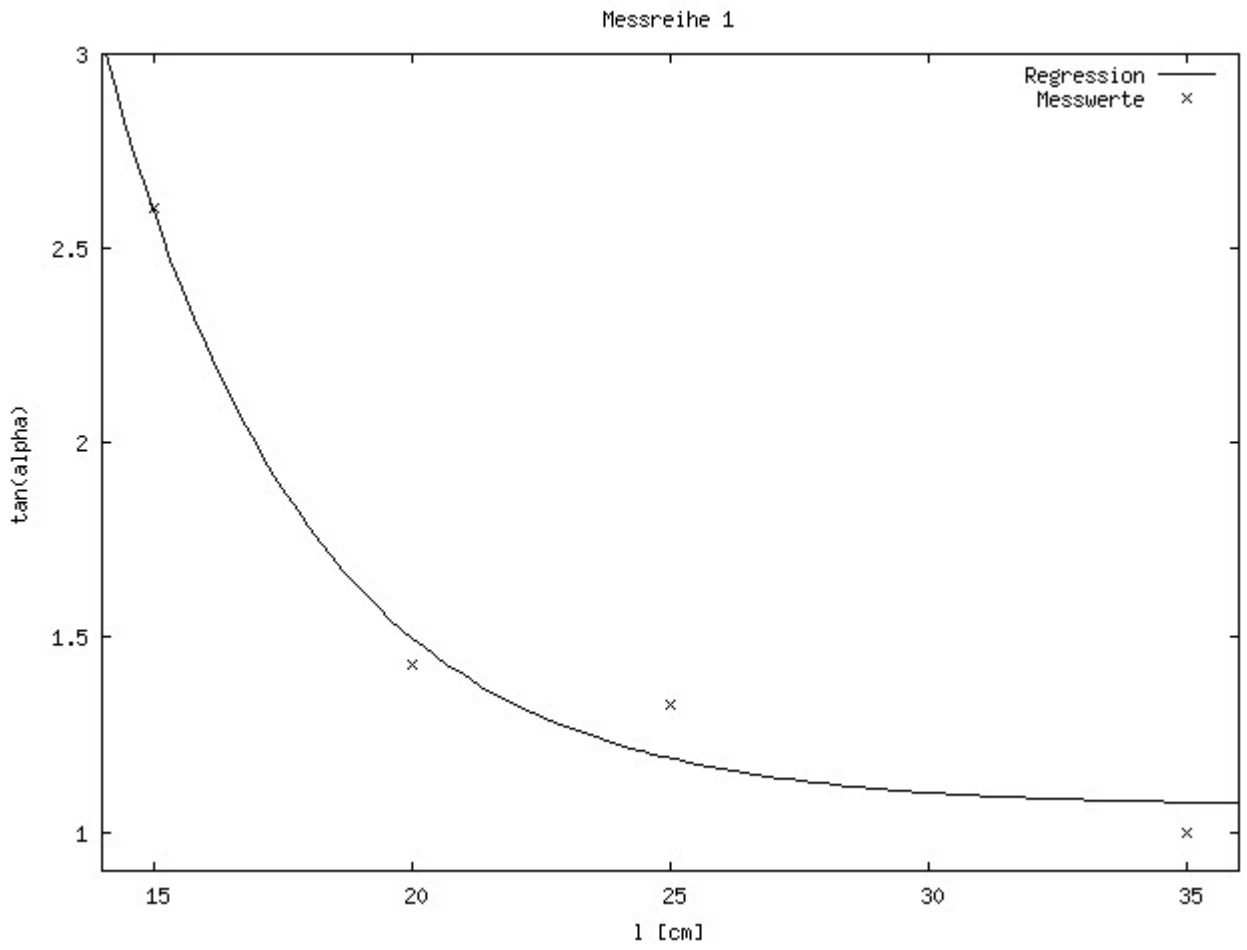
$I$ [A]	$\alpha$ [°]	$\tan(\alpha)$	$I / \tan(\alpha)$
2,5	74	3,48741	7,169E-1
2	73,6	3,39771	5,886E-1
1,5	70,5	2,82391	5,312E-1
1	70	2,74748	3,640E-1
0,75	69	2,60509	2,879E-1
0,5	66	2,24604	2,226E-1
0,4	62	1,88073	2,127E-1
0,3	60	1,73205	1,732E-1
0,2	53	1,32704	1,507E-1
0,1	38	0,78129	1,280E-1
0,08	30,5	0,58905	1,358E-1
0,06	25	0,46631	1,287E-1

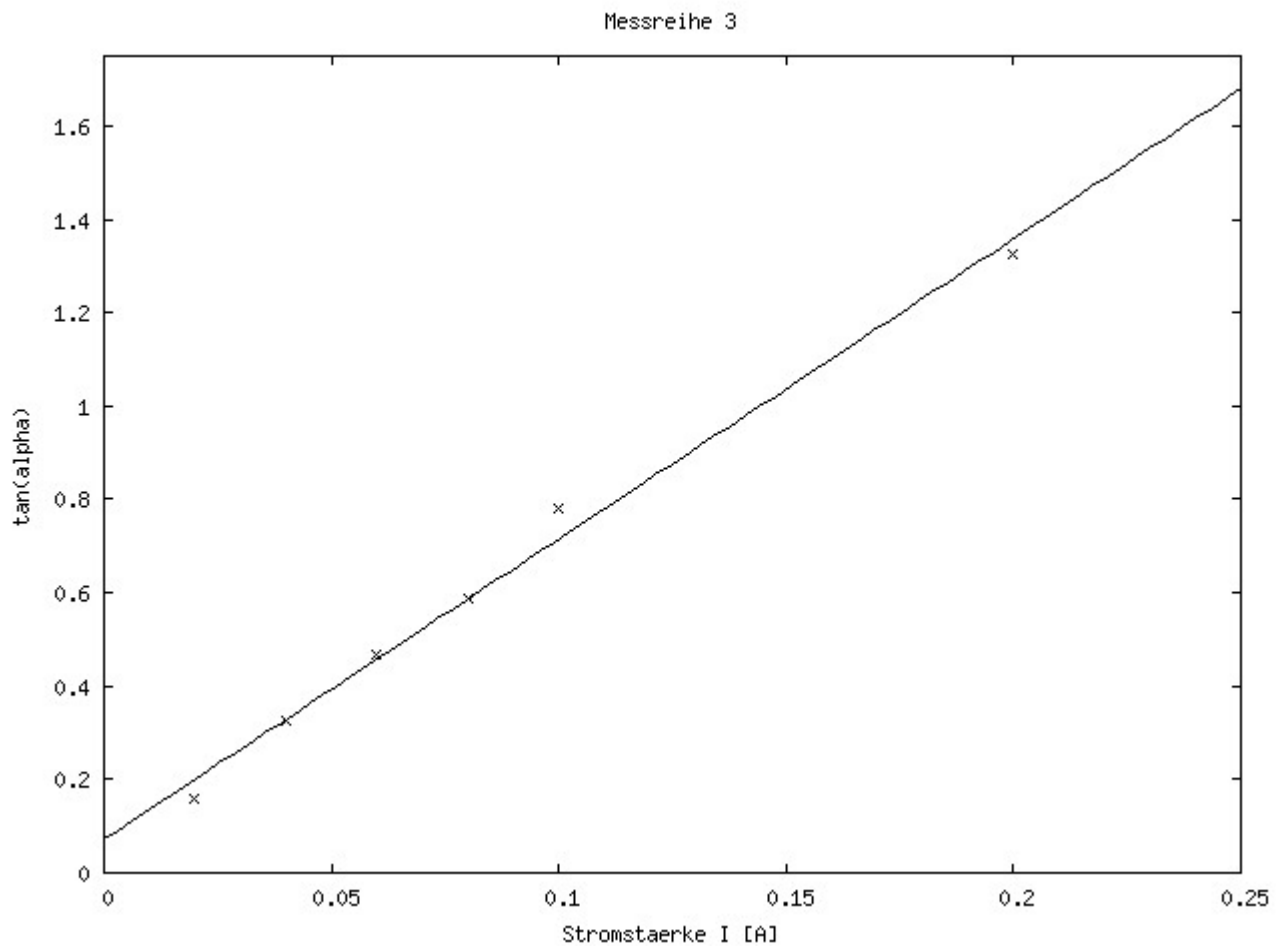
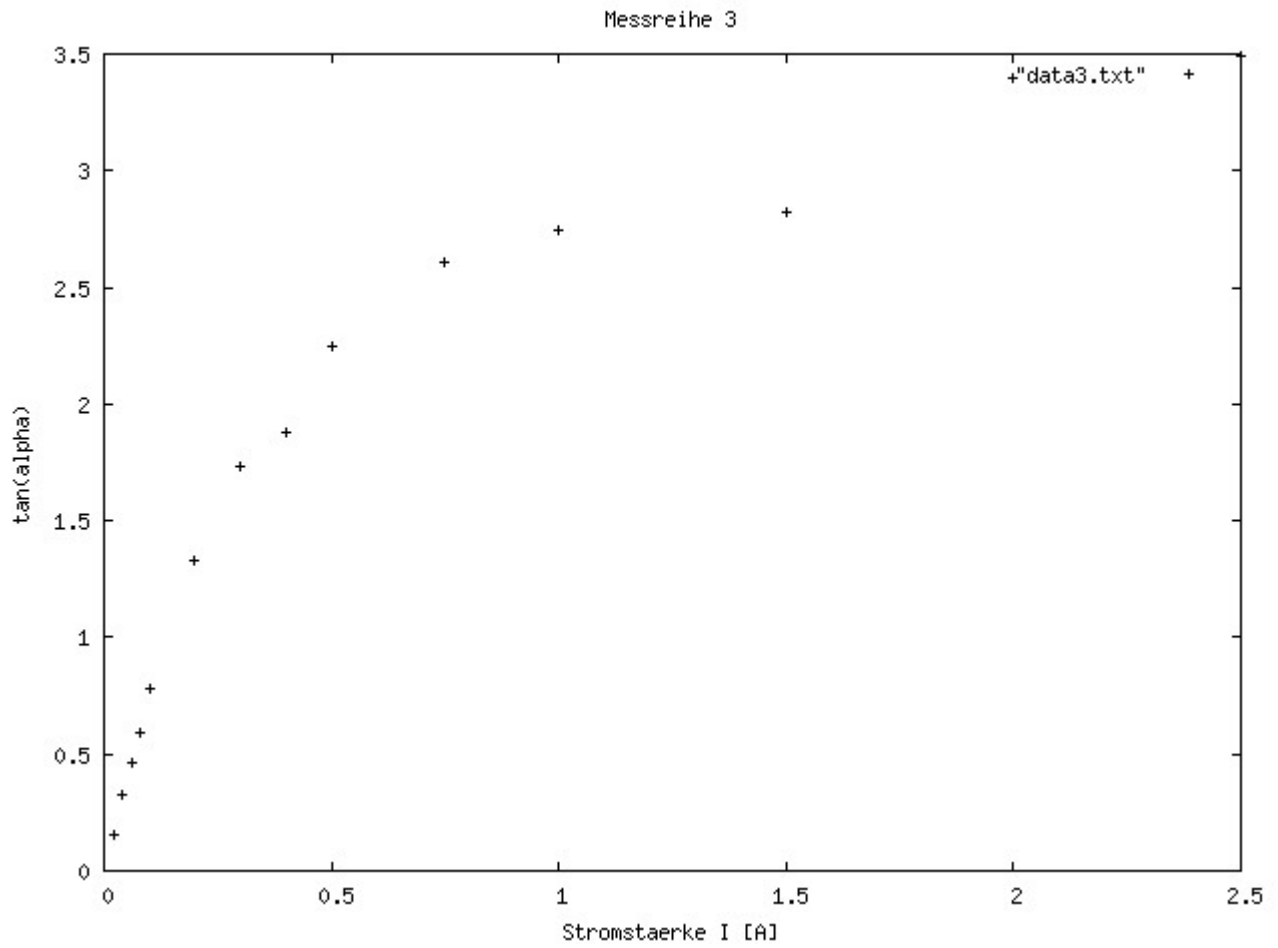
**Messreihe 4:**

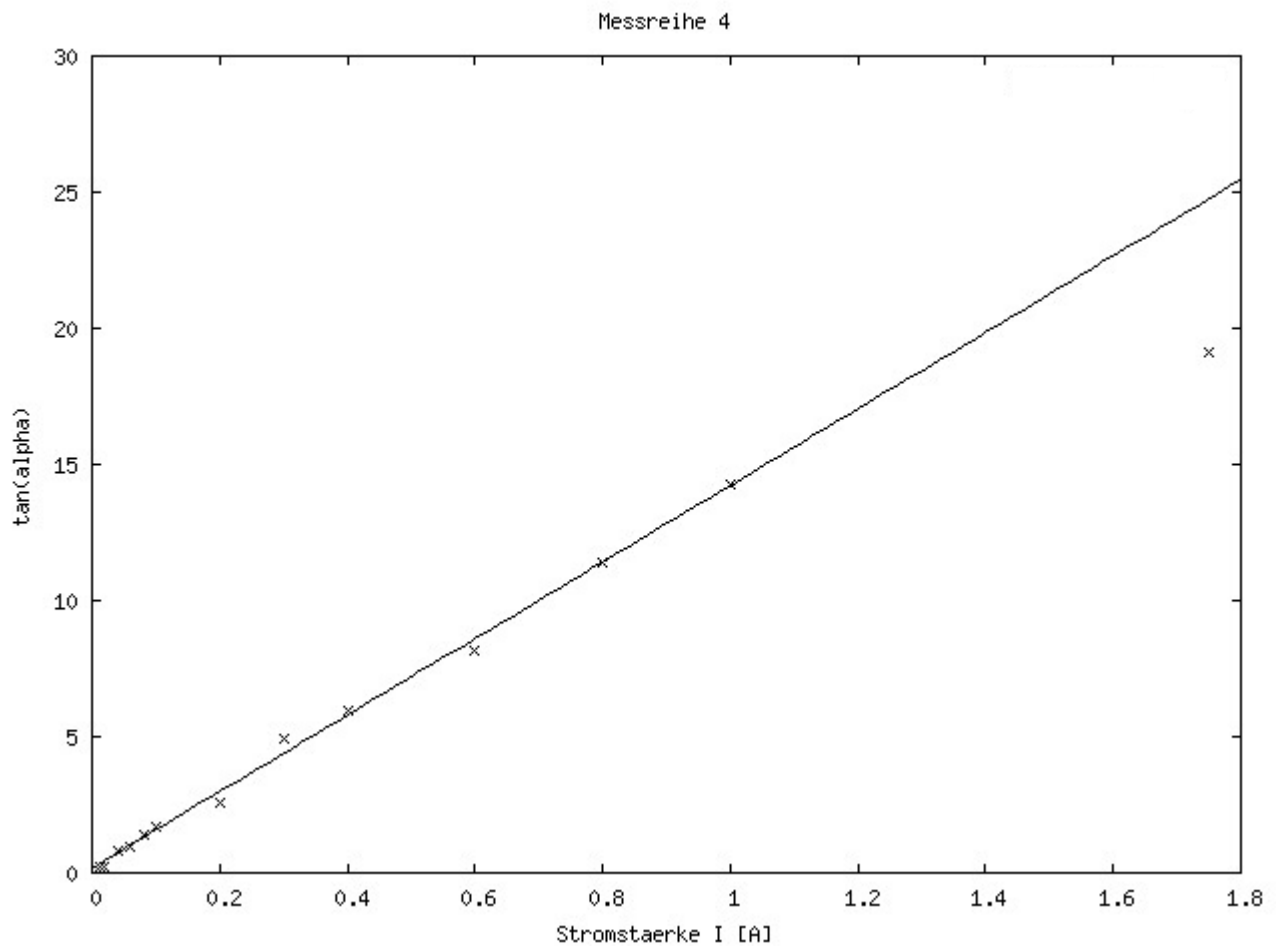
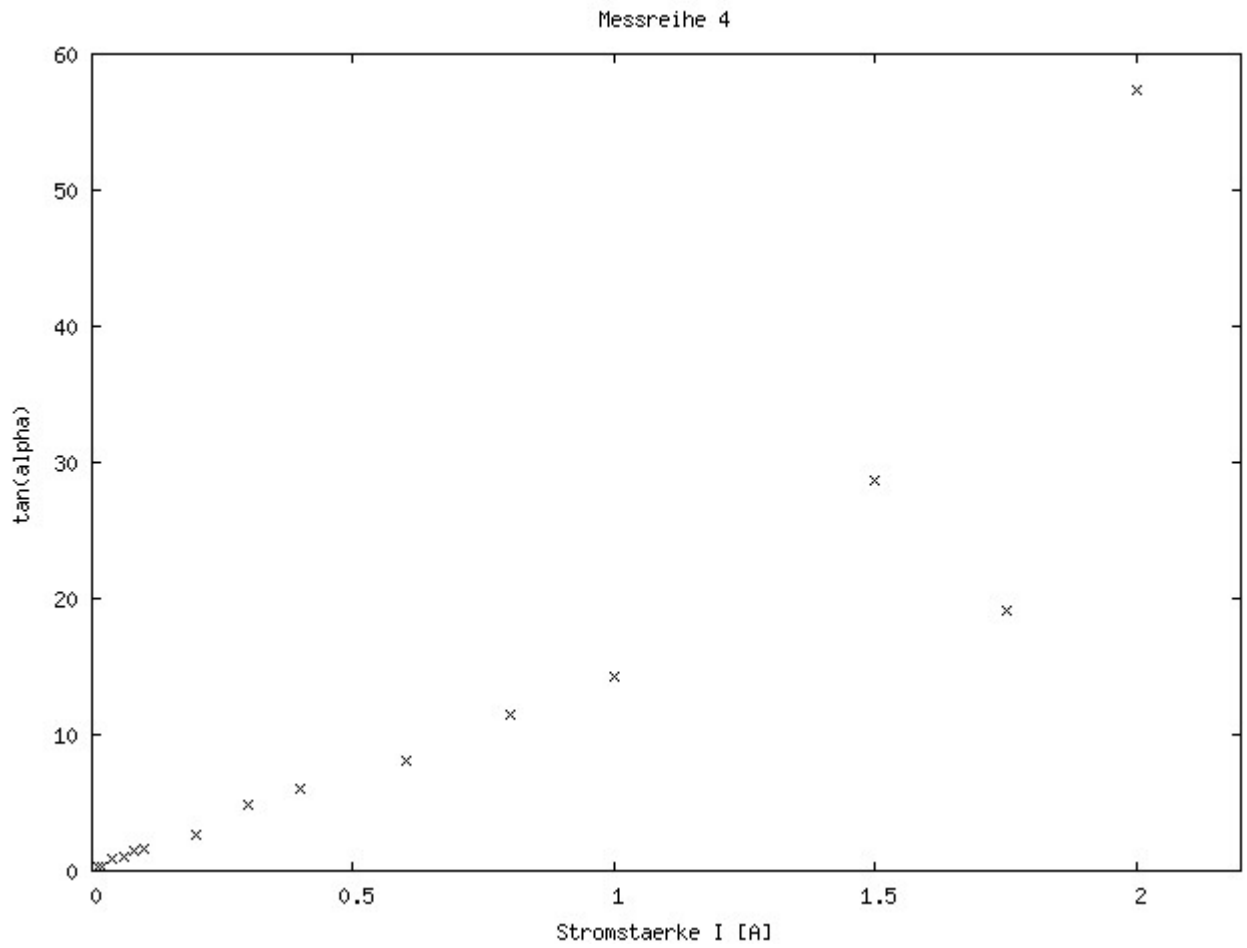
$I$ [A]	$\alpha$ [°]	$\tan(\alpha)$	$I / \tan(\alpha)$
2	89	57,28996	3,491E-2
1,75	87	19,08114	9,171E-2
1,5	88	28,63625	5,238E-2
1	86	14,30067	6,993E-2
0,8	85	11,43005	6,999E-2
0,6	83	8,14435	7,367E-2
0,4	80,5	5,97576	6,694E-2
0,3	78,5	4,91516	6,104E-2
0,2	69	2,60509	7,677E-2
0,1	59,2	1,67752	5,961E-2
0,08	55	1,42815	5,602E-2
0,06	44,5	0,98270	6,106E-2

**Auswertung:** Wenn unsere Proportionalitätsbeziehung stimmt, so müsste eigentlich in der letzten Spalte immer ein konstanter Wert stehen. In Messreihe 1 ist dies passabel gelungen, in Messreihe 3 für kleine Stromstärken ( $I < 0,35$  A) gut und in Messreihe 4 für kleine Stromstärken ( $I < 1$  A) sehr gut.

Die Schaubilder der Werte für Messreihe 1 und Messreihe 2 müsste also das einer exponentiell fallenden Funktion sein, Die Schaubilder von Messreihe 3 und Messreihe 4 müssten eigentlich Geraden bilden.







Würde man nicht mit einem Computerprogramm arbeiten, so sollte man versuchen, Schaubilder zu erstellen, die für eine korrekte Proportionalität eine Gerade bilden. Diese Gerade könnte man mit einem Lineal nämlich bequem einzeichnen.

Da hier aber die hochpräzise Darstellungsart mit dem Computer gewählt wurde, war es mir auch möglich, korrekt geplottete Exponentialfunktionen mit den Messwerten zu vergleichen, was insofern eine bessere Darstellung erlaubt, als dass man auf den Achsen die gemessenen Werte über den vorgegebenen Werten dargestellt hat.

Aus den Ergebnissen unserer Messungen ergibt sich somit

für kleine Erregerstromstärken  $I_{err} < 0,2A$ :  $B \sim \frac{1}{l}$

für kleine Erregerstromstärken  $I_{err} < 0,25A$ :  $B \sim I_{err}$

Für die Abhängigkeit von B von  $n$  kann jedoch keine Aussage getroffen werden, da wir für  $n$  nur mit zwei verschiedenen Werten ( $n = 32$  und  $n = 70$ ) experimentieren konnten. Aus unseren Experimenten ergibt sich also:

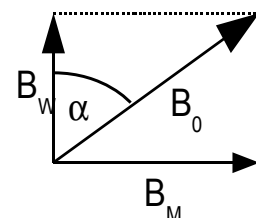
$$B \sim \frac{I_{err}}{l}$$

Die Schaubilder zeigen für größere Stromstärken ( $I > 1A$ ) starke **Abweichungen**. Diese lassen sich vermutlich aus den Eigenschaften des Tangens erklären. In diesen Bereichen stärkeren Stromflusses sind nämlich die Winkel  $\alpha$  um die ausgelenkt wird nicht nur sehr groß, sondern sie sind zudem noch nahe beieinander. Für eine relativ große Änderung der Stromstärke ändert sich der Winkel  $\alpha$  nicht mehr so stark (vgl. Daten aus Messreihe 4: Bei niedrigen Stromstärken ändert sich der Winkel um ca.  $10^\circ$  für  $0,02A$  Unterschied, bei großen Stromstärken für  $0,25A$  Änderung um nur  $1^\circ$ ). Diese feinen Unterschiede sind an der kleinen Kompassnadel nicht präzise genug ablesbar. Der kleine Messfehler potenziert sich durch die Eigenschaft der Tangensfunktion und stellt diese Abweichungen dar.

### Zusatz (theoretisch):

Wenn die Spule genügend Windungen hat und lange genug ist, so baut sie in ihrem Inneren ein homogenes magnetisches Feld auf. An den Enden der Spule wird es schwächer, außerdem ist es nicht mehr homogen. Außerhalb der Spule erinnert der Verlauf des magnetischen Feldes sehr an den eines Stabmagneten.

Möglicherweise ist das Feld am Ende der Spule deshalb nur halb so stark wie im Inneren der Spule, weil dort die Feldlinien nicht mehr alle in eine Richtung verlaufen. Da eine Hall-Sonde nur die Stärke von Feldlinien messen kann, die genau senkrecht zum Stromfluss durch die Sonde stehen ( $B_M$ ), kann sie die Feldstärke des Feldes ( $B_0$ ) hier nicht voll messen, sondern zerlegt sie in zwei Komponenten. Eine dieser Komponenten wäre in Richtung des homogenen Magnetfeldes der Spule ( $B_M$ ), und diese Komponente kann gemessen werden. Eine andere Komponente würde senkrecht dazu stehen ( $B_W$ ) und nicht gemessen werden.



Eine andere Erklärung ist, dass das Magnetfeld an den Spulenden einfach deshalb an Stärke verliert, weil es nicht mehr homogen ist. Feldlinien ‚zweigen ab‘ (um außen um die Spule herum zu verlaufen) und so wird die Feldliniendichte immer schwächer. Am Ende der Spule haben die letzten Windungen keine ‚Nebenwindungen‘ mehr, die ihr Feld verstärken.