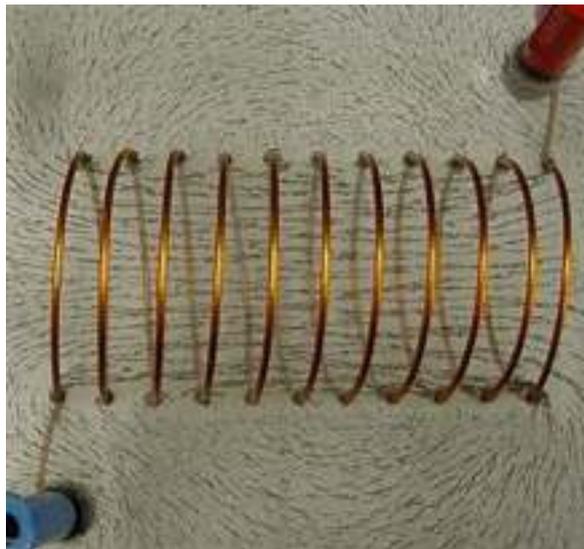




Magnetisches Feld Ringspule / Zylinderspule

Lernziel:

In diesen Praktikumsversuchen ist zunächst die magnetische Flussdichte einer Ringspule über das Gesetz nach Biot-Savart zu berechnen und mit dem Messergebnis mittels einer Hallsonde zu vergleichen. Des Weiteren ist die variable Gegeninduktivität zwischen zwei zueinander verschiebbaren Zylinderspulen zu untersuchen. Dazu wird zunächst die in eine Zylinderspule induzierte Spannung gemessen und die Koppelinduktivität sowie der Kopplungsgrad und der Streufaktor durch Rückrechnung ermittelt. Alle Messungen und Rückrechnungen sind zusätzlich mit vorherigen Berechnungen zu vergleichen und die Abweichungen zu diskutieren.





1 Versuchsvorbereitung

1.1 Ringspule

Gegeben sei eine Ringspule nach Bild 1.1. Die Ringspule hat $N = 50$ Windungen. Durch die Spule fließt ein Gleichstrom der Größe $I = 3$ A. Der Radius der Ringspule beträgt $r = 3$ cm.

1.1.1 Mit Hilfe des Gesetzes von Biot–Savart berechne man die magnetische Flussdichte $B_z(z)$ in z -Richtung, d.h. $B_z(z)$ im variablen Aufpunkt P auf der z -Achse. Des weiteren überlege man sich, wie groß die magnetische Flussdichte $B_y(z)$ entlang der z -Achse ist.

1.1.2 Die Ergebnisse der Berechnungen für die Flussdichte $B_z(z)$ sind in das Bild 2.1.2 für den Bereich $0 \leq z \leq 10$ cm einzuzichnen.

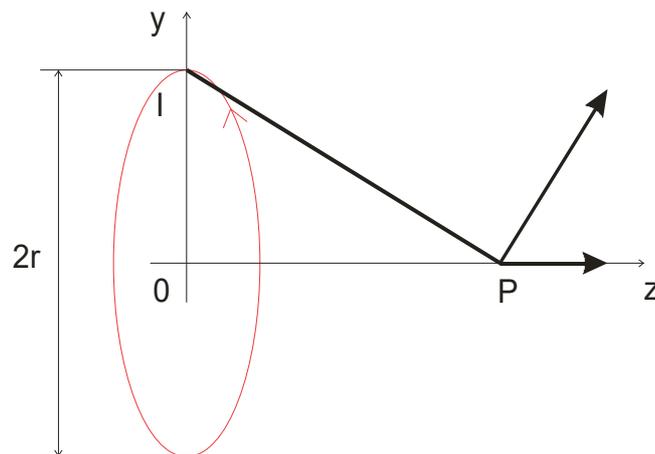


Bild 1.1. Ringspule mit N Windungen und magnetische Flussdichte im Aufpunkt P



1.2 Zylinderspulen

Gegeben seien zwei Zylinderspulen 1 und 2 nach Bild 1.2. mit den Selbstinduktivitäten L_1 und L_2 . Durch das Verschieben der inneren Spule 2 um Δz kann die Gegeninduktivität $M(\Delta z)$ zwischen den Spulen verändert werden.

Die Spulen haben folgende Daten:

Spule 1: Windungszahl $N_1 = 50$; Radius $r_1 = 2,64$ cm; Länge $l_1 = 13,4$ cm

Spule 2: Windungszahl $N_2 = 50$; Radius $r_2 = 2,065$ cm; Länge $l_2 = 5,4$ cm

Man berechne folgende Größen für die Anordnung nach Bild 1.2:

- 1.2.1 Selbstinduktivität L_1 und L_2 unter der Annahme eines konstanten und homogenen magnetischen Feldes innerhalb der Spulen.
- 1.2.2 Variable Gegeninduktivität $M(\Delta z)$ für den Bereich $0 \leq \Delta z \leq 15$ cm in Schritten von jeweils $\Delta z = 1$ cm unter der Annahme, dass die magnetische Flussdichte außerhalb der Spule 1 vernachlässigbar klein ist.
- 1.2.3 Kopplungsfaktor $k(\Delta z)$ sowie Streufaktor $\sigma(\Delta z)$ jeweils in %.

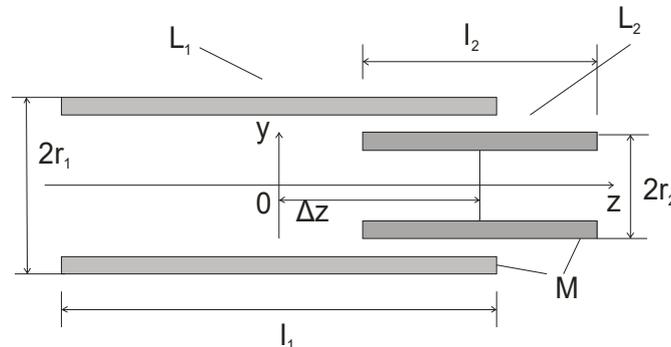


Bild 1.2. Zwei um Δz verschiebbare Zylinderspulen 1 und 2 mit den Selbstinduktivitäten L_1 und L_2 sowie der variablen Gegeninduktivität $M(\Delta z)$

- 1.2.4 Im Versuch fließt durch die Spule 1 ein Wechselstrom mit dem Effektivwert $I_{eff} = 2,5$ A bei einer Frequenz von $f = 50$ Hz. Mittels der variablen Gegeninduktivität $M(\Delta z)$ nach 1.2.2 berechne man den Effektivwert der in die Spule 2 induzierten Spannung $U_i(\Delta z)$ und trage den Effektivwert in das Bild 2.2.2. ein.
- 1.2.5 Die Ergebnisse der Berechnungen für die Gegeninduktivität $M(\Delta z)$ sowie den Kopplungsfaktor $k(\Delta z)$ und den Streufaktor $\sigma(\Delta z)$ zeichne man für die Verschiebung $0 \leq \Delta z \leq 15$ cm in die Bilder 2.2.3 und 2.2.4 ein.

2 Versuchsdurchführung

2.1 Ringspule

Zur Durchführung des Versuchs gehe man wie folgt vor:

- Man wickle auf ein Plexiglasrohr (Radius $r = 3 \text{ cm}$) etwa 5 cm von einem Ende entfernt genau 50 Windungen aus lackiertem Kupferdraht (Durchmesser $d = 0,8 \text{ mm}$) dicht über- und nebeneinander, so dass eine möglichst ringförmige Spule entsteht.
- Man baue den Versuch entsprechend Bild 2.1.1 auf und lasse ihn durch die Aufsicht überprüfen. Beim Aufbau beachte man, dass die Hall-Sonde an den Klemmen 3 (+) und 4 (-) von einem Gleichstrom gespeist wird und an den Klemmen 1 und 2 die Hall-Spannung gemessen wird.
- Man schalte die Gleichspannungsversorgung für die Hall-Sonde ein und erhöhe die Versorgungsspannung soweit, bis ein Gleichstrom von 5 mA fließt. **Achtung: Ströme über 7 mA zerstören die Hall-Sonde!**
- Man messe an den Klemmen 1 und 2 die Leerlauf-Hall-Spannung U_{H0} , die als Offsetspannung bei der Messung ohne eingeschaltete Ringspule auftritt.
- Man schalte die Spannungsversorgung für die Ringspule auf Gleichspannung (=) und den Bereichsschalter auf die maximale Spannung von 50V. Ausgehend von der Nullstellung der Spannung ($U = 0 \%$) erhöhe man **sehr langsam !!!** die Spannung bis ein Gleichstrom von $I = 3 \text{ A}$ durch die Ringspule fließt. **Achtung: Der Strom von $I = 3 \text{ A}$ fließt schon bei Spannungen in der Größenordnung von einigen Volt!**
- Ausgehend vom Mittelpunkt der Wicklung messe man in Abständen von $\Delta z = 1 \text{ cm}$ die Hall-Spannung U_H und trage sie in die Tabelle 2.1.1 ein.
- Man werte die Messung nach Tabelle 2.1.1 aus, zeichne das Ergebnis für $B_z(z)$ in das Bild 2.1.2 ein und diskutiere die Ergebnisse.

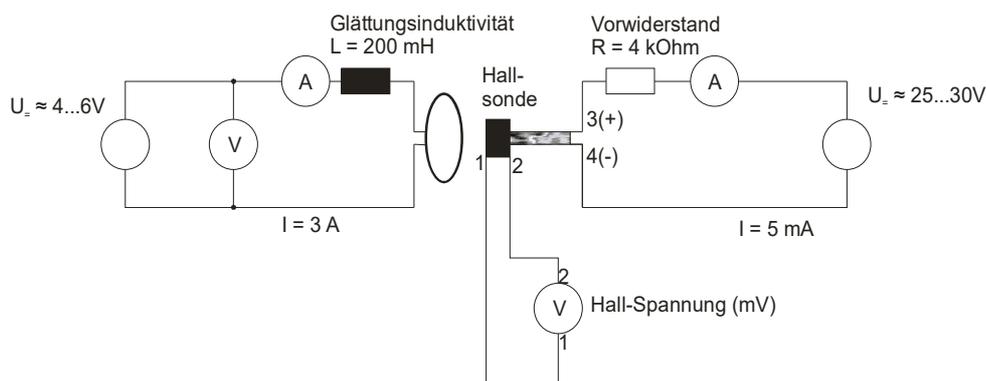


Bild 2.1.1. Versuchsaufbau zur Messung der magnetischen Flussdichte einer Ringspule mittels einer Hall-Sonde



Tabelle 2.1.1. Messung der magnetischen Flussdichte $B_z(z)$ mit der Hall-Sonde

Empfindlichkeit der Hall-Sonde $B_z = \text{_____ mT/mV}$					Leerlauf-Hall-Spannung $U_{H0} = \text{_____ mV}$							
z	[cm]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{H \text{ mess}}^*)$	[mV]											
$U_{H \text{ ber}}$	[mV]											
$B_z(z)$	[mT]											

**) Wenn die Leerlauf-Hall-Spannung schwankt, dann Voltcraft ME-42 oder das Leistungsmessgerät verwenden.*

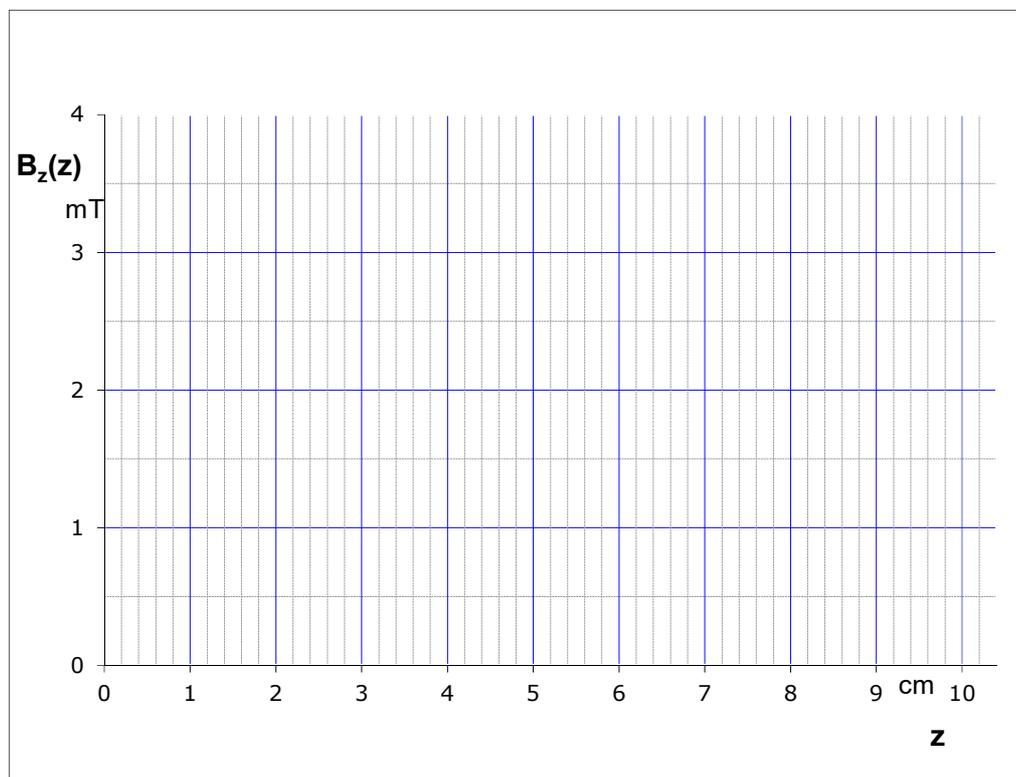


Bild 2.1.2. Berechnete und gemessene magnetische Flussdichte $B_z(z)$ bei der Ringspule nach Bild 1.1. in Abhängigkeit von der Entfernung z vom Mittelpunkt

2.2 Zylinderspulen

Der Versuch wird wie folgt durchgeführt:

- a) Man baue die Versuchsschaltung entsprechend Bild 2.2.1 auf und lasse sie durch die Aufsicht überprüfen.
- b) Man schalte die Spannungsversorgung für die Spule 1 auf Wechselspannung (\sim) und den Bereichsschalter auf die maximale Spannung von 50 V.
- c) Ausgehend von der Nullstellung der Spannung ($U = 0\%$) erhöhe man langsam die Spannung an der Spule 1, bis ein Wechselstrom mit dem Effektivwert 2,5 A fließt.
- d) Ausgehend von $z = 0$ messe man in Abständen von 1 cm ($\Delta z = 1 \dots 15$ cm) die in die Spule 2 induzierte Spannung U_i und trage sie in Tabelle 2.2.1 sowie in Bild 2.2.2 ein.
- e) Mit den gemessenen Werten für die induzierte Spannung U_i berechne man die variable Gegeninduktivität $M(\Delta z)$, den Kopplungsfaktor $k(\Delta z)$ sowie den Streufaktor $\sigma(\Delta z)$ und trage die Werte in Tabelle 2.2.1 sowie in die Bilder 2.2.3 und 2.2.4 ein.
- f) Man diskutiere die Ergebnisse, insbesondere im Hinblick auf die Abweichungen zwischen Rechnung und Messung.
- g) In die Spulen stecke man eine Eisenstange und messe die induzierte Spannung U_i . Warum ist die induzierte Spannung nun erheblich größer, obwohl sich der induzierende Strom bzw. die Durchflutung nicht geändert haben?

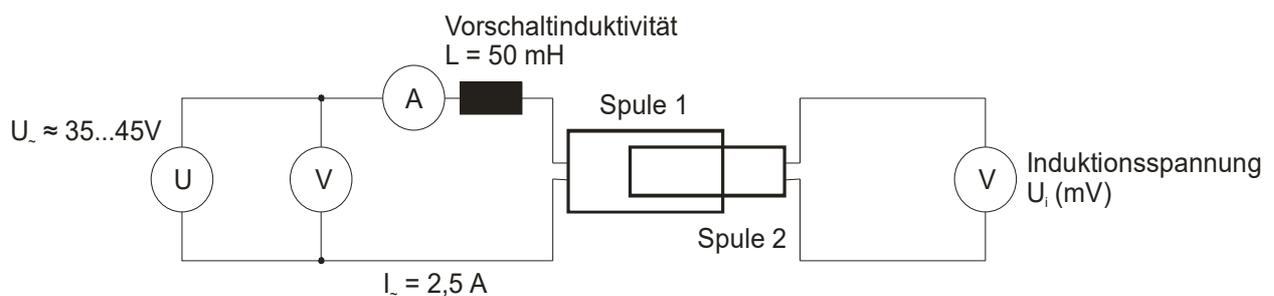


Bild 2.2.1. Versuchsaufbau zur Messung der von der Spule 1 in die Spule 2 induzierten Spannung U_i bei variabler Gegeninduktivität $M(\Delta z)$



Tabelle 2.2.1. Gemessene Werte für die induzierte Spannung U_i und daraus berechnete Gegeninduktivität $M(\Delta z)$, Kopplungsfaktor $k(\Delta z)$ sowie Streufaktor $\sigma(\Delta z)$

Δz	[cm]	0	1	2	3	4	5	6	7
U_i	[mV]								
$M(\Delta z)$	[μH]								
k	[%]								
σ	[%]								

Δz	[cm]	8	9	10	11	12	13	14	15
U_i	[mV]								
$M(\Delta z)$	[μH]								
k	[%]								
σ	[%]								

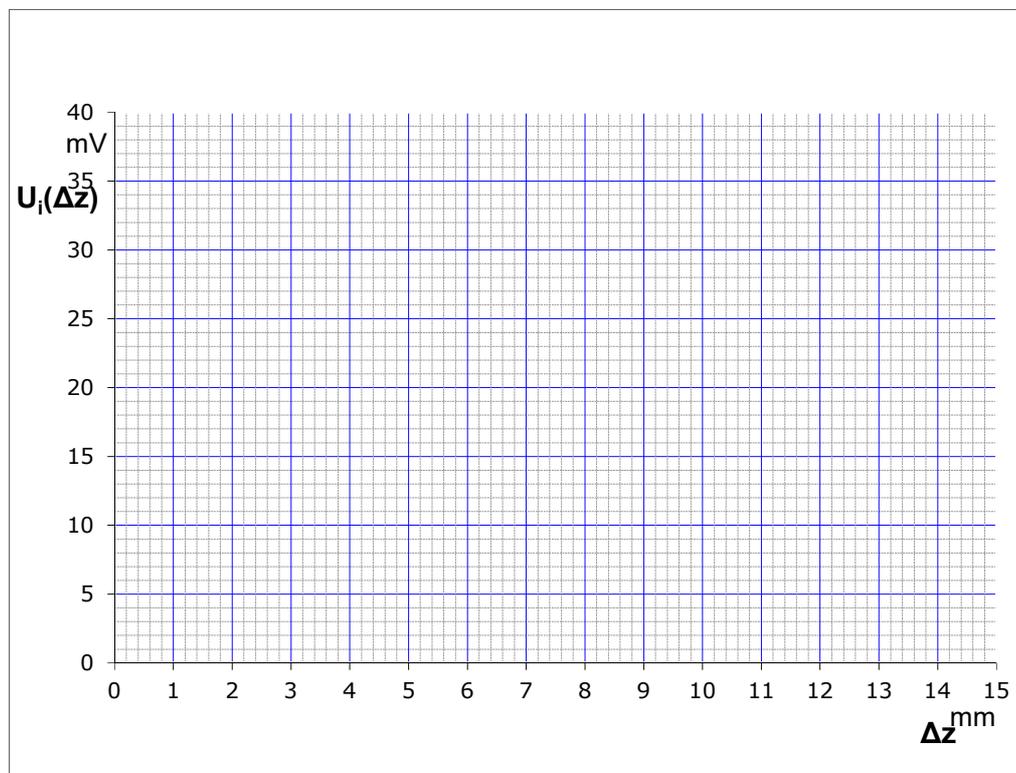


Bild 2.2.2. Berechnete und gemessene Werte für die in Spule 2 induzierte Spannung $U_i(\Delta z)$

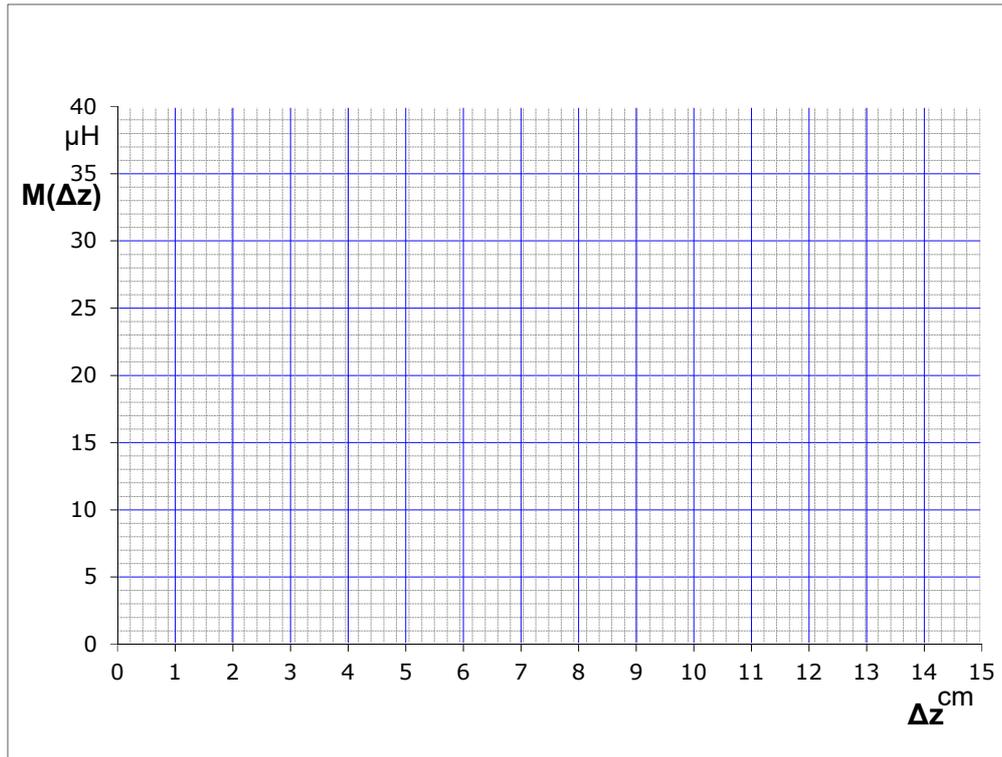


Bild 2.2.3. Berechnete und aus Messung resultierende Werte für die variable Gegeninduktivität $M(\Delta z)$ in Abhängigkeit der Verschiebung (Δz)

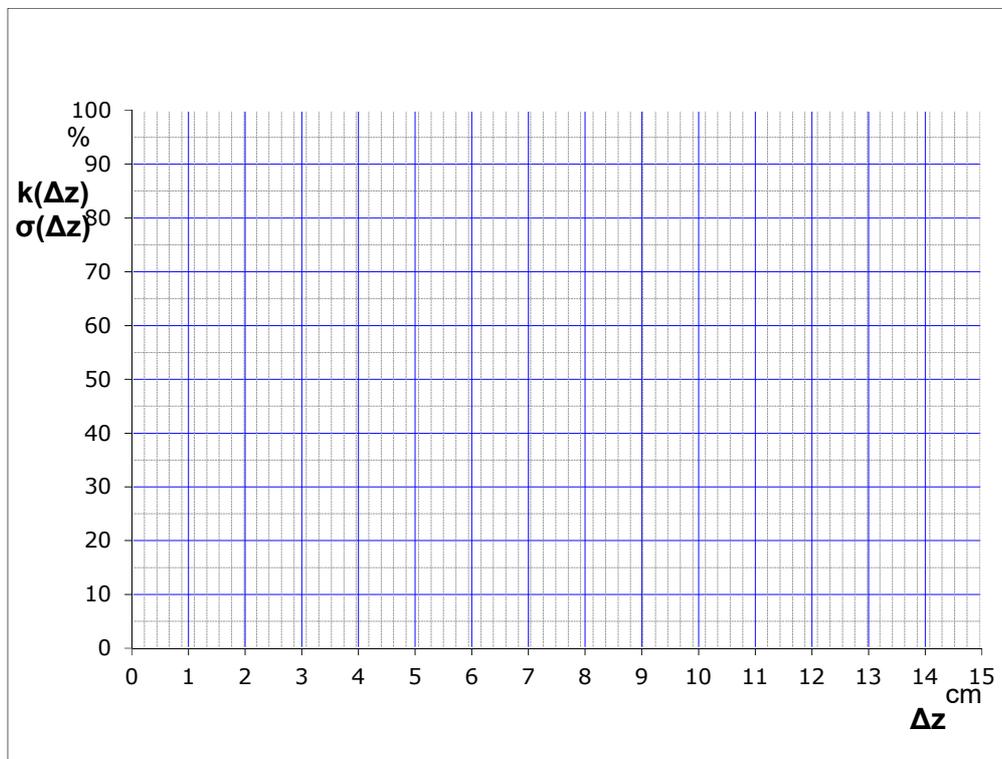


Bild 2.2.4. Berechnete und aus Messung resultierende Werte für den Kopplungsfaktor $k(\Delta z)$ und Streufaktor $\sigma(\Delta z)$ anhängig von der Verschiebung (Δz)