

Rundes Helmholtz-Spulenpaar Circular Helmholtz Coils



Aufbau 1: Parallelbetrieb von Einzelspulen ($f > 6$ MHz)
 Setup 1: parallel operation of coils ($f > 6$ MHz)

| Technische Daten: (Parallelbetrieb) | | Specifications: (Parallel Operation) |
|--|---------------------------------|--|
| Windungszahl (pro Spule): | 1 | <i>Number of turns (per coil):</i> |
| Maximaler Spulenstrom: | 20 A, 1 min. | <i>Maximum coil current:</i> |
| Spulenstrom, nominell: | 15 A continuous | <i>Nominal coil current:</i> |
| Spulenabstand: | 250 mm | <i>Coil spacing:</i> |
| Max. Magn. Feldstärke: | 28.6 A/m, 1 min. | <i>Maximum magnetic field strength:</i> |
| Magn. Nennfeldstärke: | 14.3 A/m continuous | <i>Nominal magnetic field strength:</i> |
| Magn. Feldstärke bei 1 A Spulenstrom: | 1.43 A/m 123.11 dB μ A/m | <i>Magnetic field strength @ 1 A coil current:</i> |
| Erforderlicher Gesamtstrom für 1 A/m: | 700 mA | <i>Total current required for 1 A/m:</i> |
| Wandlungsmaß Strom-Feldstärke (Spulenfaktor): | 3.11 dB/m | <i>Conversion current-to-field-strength (coil factor):</i> |
| Spulen-Durchmesser: | 500 mm | <i>Coil diameter:</i> |
| Abmessungen: | 0.52m x 0.72m x 0.42m | <i>Mechanical dimensions:</i> |
| Größtmöglicher Prüflingswürfel: | 25x25x25 cm | <i>Max. volume of DuT:</i> |
| Anschluss: | N-female | <i>Terminal:</i> |
| Nutzbarer Frequenzbereich: | DC - 30 MHz | <i>Usable frequency range:</i> |
| Induktivität (pro Spule): | 1.15 μ H | <i>Inductance (per coil):</i> |
| Induktivität (Spulenpaar): | 0.67 μ H | <i>Inductance (pair of coils):</i> |
| Resonanzfrequenz (Spulenpaar): | > 44 MHz | <i>Resonance frequency (Pair of coils):</i> |
| Gewicht: | 5.5 kg | <i>Weight:</i> |

Beschreibung:

Das Helmholtz-Spulenpaar eignet sich zur Erzeugung exakt definierter magnetischer Felder von DC bis zum oberen Ende des Kurzwellenbereichs. Die erzeugte Feldstärke steht in streng linearem Zusammenhang zum Spulenstrom. Aus der Spulengeometrie, dem Strom und der Windungszahl lässt sich die resultierende Feldstärke exakt analytisch (oder auch numerisch) berechnen. Daher ist die HHS 5205-1 ideal für Kalibrierungen von Magnetfeldsonden einsetzbar. Typische Anwendungsfälle sind Immunitätsprüfungen im medizinischen Bereich – z. B. AIM 7351731, ISO 14443, ISO 15693-3, KFZ-Bereich und nach MIL STD 461. Bei der Felderzeugung mit Helmholtzspulen ist die magnetische Feldstärke streng proportional zum Spulenstrom. Letztendlich lässt sich die Kalibrierung der Magnetfeldstärke auf eine Strommessung (oder z.B. auf den Spannungsabfall an einem bekannten Vorwiderstand) zurückführen.

Die Helmholtzspule selbst wird wegen des einfachen Zusammenhangs zwischen Strom und Feldstärke in der Regel nicht kalibriert sondern gilt als Primärnormal. Ansonsten können die erzeugten Feldstärken auch mit Feldspulen oder Sensorspulen nachgemessen werden.

Felderzeugung bei hohen Frequenzen erfordert die Anwendung von Leistungsverstärkern in 50 Ohm Technik. Die Impedanz von Spulen steigt linear mit der Frequenz. Deswegen wird der maximale Spulenstrom bei Parallelbetrieb von beiden Spulen (Aufbau 1) im Frequenzbereich von 6 MHz bis ca. 30 MHz erreicht, bei serieller Beschaltung (Aufbau 2) hingegen im Frequenzbereich von DC bis 6 MHz.

Aufbau 1: Parallelbetrieb der Spulen

Das Helmholtz-Spulenpaar besteht aus zwei Einzelspulen die miteinander elektrisch parallel verbunden sind, um die Eingangsimpedanz bei hohen Frequenzen niedrig zu halten. Im Frequenzbereich von 6 bis 30 MHz ändert sich der Betrag der Impedanz zwischen 25 und 130 Ohm (der Wert ist dabei rein imaginär). **Der HF-Verstärker muss dabei ein sehr hohes VSWR verkraften können, da nahezu hundertprozentige Reflektion stattfindet.** Es empfiehlt sich der Einsatz von einer Mantelstromsperre (z. B. vom Typ Schwarzbeck MSS 9630).

Die Verbindung von HF-Generator oder Verstärker mit der HHS 5205-1 wird mit einem 50 Ohm Koaxialkabel hergestellt.

Description:

Helmholtz coils are especially designed to generate precisely defined magnetic fields from DC up to 30 MHz and beyond. The generated fields are in a strongly linear relation to the coil current. The field strength can be calculated exactly by analytical (or numerical) methods, based on the geometry of the coils, the number of turns and the coil current. Therefore the HHS 5205-1 is ideally suited for the calibration of magnetic field probes or sensors. Typical applications are magnetic immunity testing according to medical standard AIM 7351731, ISO 14443, ISO 15693-3, automotive standards or MIL-461F. When generating magnetic fields with Helmholtz coils the coil current is directly proportional to the magnetic field strength. The calibration of the magnetic field is finally traceable to a current measurement (or to a voltage drop at a known resistor).

The Helmholtz coil itself is usually considered as primary standard due to the easily calculable relation between current and field strength. If this relation should be controlled, a loop sensor or monitoring loop can be used to determine the actual field strength.

The generation of magnetic fields at high frequencies requires the usage of 50 Ohm power amplifiers. The impedance of the coils increases linearly with the frequency. Therefore the maximum coil current for parallel operation of the coils (Set-up 1) is reached in the frequency range of 6 MHz to about 30 MHz. For serial operation of the coils (Set-up 2) the maximum is however reached in the frequency range from DC to 6 MHz.

Set-up 1: Coils are operated in parallel

The pair of Helmholtz coils consists of two separate coils which are electrically connected in parallel in order to keep the input impedance low at high frequencies.

*The magnitude of the impedance (imaginary value) is changing from 25 Ohm up to 130 Ohm in the frequency range of 6 to 30 MHz. **The RF amplifier must be able to handle high values of VSWR during operation since almost 100% of the input signal is reflected.** The use of an external sheath current choke is recommended (e.g. MSS 9630) to suppress unwanted sheath currents. The connection of the HHS 5205-1 to the amplifier or HF-generator is made by a 50 Ohm coaxial cable.*

Keine Impedanztransformation im Kabel tritt nur bei Kabellängen auf, die einer vielfachen Anzahl der Halbwellenlänge entsprechen:

$$l = N * \lambda/2 * K$$

dabei ist:

λ – Wellenlänge;

K – Verkürzungsfaktor des Kabels;

N – Anzahl von Halbwellen.

Beispiel für $f = 13,56$ MHz:

$\lambda = 22,12$ m;

K = 0,66 für den Kabel von Typ RG213;

N = 1

Gesuchte Kabellänge:

$l = 1 * 22,124/2 * 0,66 = 7,3$ m.

Die erzeugte Feldstärke kann mit Feldspulen kontrolliert werden (z. B. Monitorantenne Schwarzbeck HFRAE 5163).

Warnhinweiß:

Bei hohen Eingangssignalen nur in Schirmkabinen benutzen! Personen dürfen sich bei Betrieb der Helmholtzspule nicht in der Schirmkabine aufhalten!

Wegen der sehr hohen Verletzungsgefahr ist es verboten, die Spulen während des Betriebs zu berühren.

Die mit der HHS 5205-1 erzeugbare Magnetfeldstärke bei einer Stromstärke von 1 A und im Parallelbetrieb der Spulen ist in Tabelle 1 zu sehen.

Only for cables lengths equal to multiple half-wavelengths no transformation of the impedance is occurring:

$$l = N * \lambda/2 * K$$

λ – wavelength;

K – propagation factor of the cable;

N – number of half-wavelengths.

Example for $f = 13.56$ MHz:

$\lambda = 22.12$ m;

K = 0.66 for a cable of type RG213;

N = 1

The cable-length is therefore:

$l = 1 * 22.124 / 2 * 0.66 = 7.3$ m.

The generated magnetic field strength can be monitored with a loop sensor (e.g. receiving loop antenna Schwarzbeck HFRAE 5163).

Operation precautions:

The operation of the HHS 5205-1 with high input power must be performed inside of a shielded chamber!

When in use, no persons are allowed to stay inside the shielded chamber! During operation the HHS 5205-1 must not be touched because of very high risk of injury!

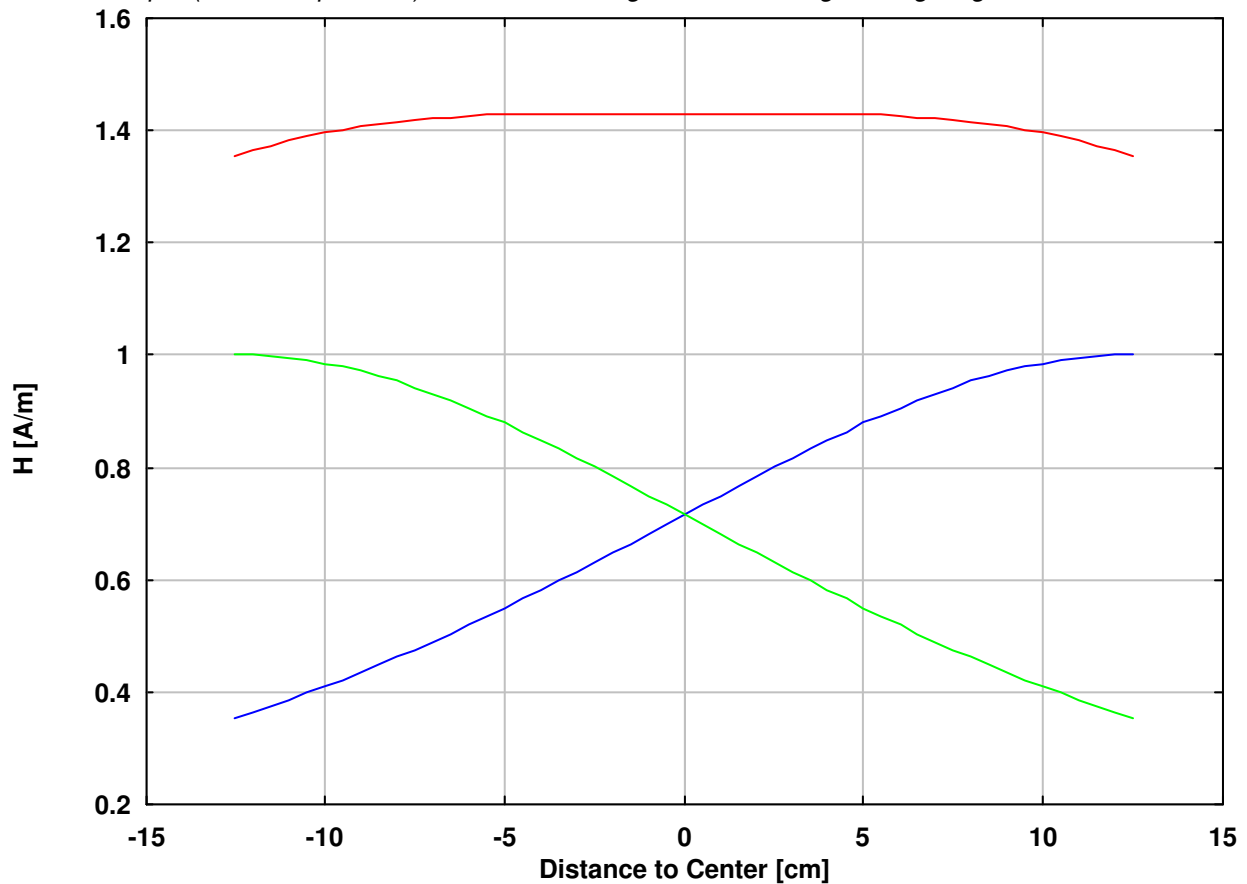
The produced magnetic field strength in parallel operation of the coils and for an input current of 1 A is listed in the following table 1.

Tabelle 1: Spulen sind parallel verbunden, Strom am Eingang der HHS 5205-1 beträgt 1 A.
 Table 1: parallel operation of coils, input current for HHS 5205-1: 1 A.

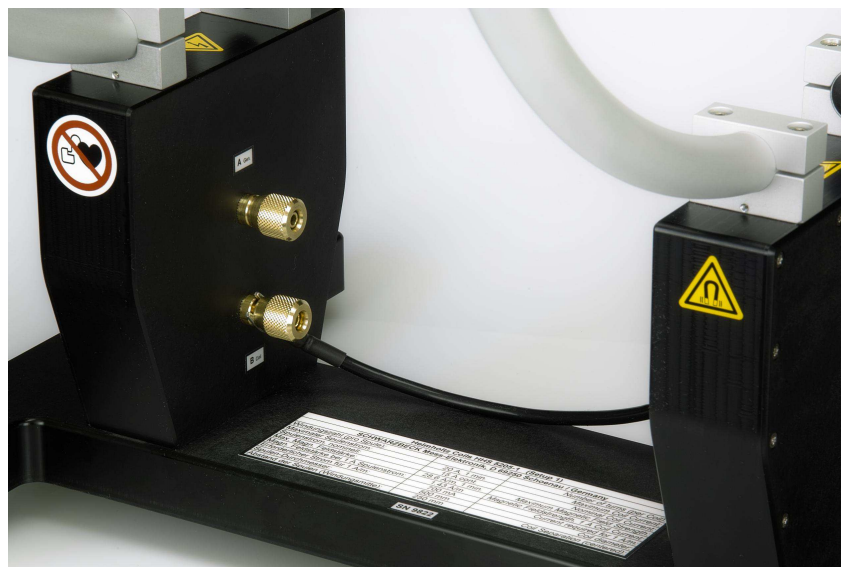
| Längskomponente der magnetischen Feldstärke entlang der Spulenlängsachse <i>Magnetic field strength, longitudinal component along rotational axis</i> | | | | | | |
|--|-------------|-------------|---------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| Abstand zur Spulenmitte <i>Distance to center [cm]</i> | H1 [A/m] | H2 [A/m] | Hges [A/m] | H1 [dB μ A/m] | H2 [dB μ A/m] | Hges [dB μ A/m] |
| 0.0 | 0.716 | 0.716 | 1.431 | 117.09 | 117.09 | 123.11 |
| 0.5 | 0.733 | 0.699 | 1.431 | 117.30 | 116.88 | 123.11 |
| 1.0 | 0.750 | 0.682 | 1.431 | 117.50 | 116.67 | 123.11 |
| 1.5 | 0.767 | 0.664 | 1.431 | 117.69 | 116.45 | 123.11 |
| 2.0 | 0.784 | 0.648 | 1.431 | 117.88 | 116.22 | 123.11 |
| 2.5 | 0.801 | 0.631 | 1.431 | 118.07 | 115.99 | 123.11 |
| 3.0 | 0.817 | 0.614 | 1.431 | 118.24 | 115.76 | 123.11 |
| 3.5 | 0.833 | 0.598 | 1.431 | 118.41 | 115.53 | 123.11 |
| 4.0 | 0.849 | 0.582 | 1.430 | 118.58 | 115.29 | 123.11 |
| 4.5 | 0.864 | 0.566 | 1.430 | 118.73 | 115.05 | 123.10 |
| 5.0 | 0.879 | 0.550 | 1.429 | 118.88 | 114.81 | 123.10 |
| 5.5 | 0.893 | 0.535 | 1.428 | 119.02 | 114.56 | 123.09 |
| 6.0 | 0.907 | 0.520 | 1.426 | 119.15 | 114.31 | 123.08 |
| 6.5 | 0.920 | 0.505 | 1.424 | 119.27 | 114.06 | 123.07 |
| 7.0 | 0.932 | 0.490 | 1.422 | 119.38 | 113.81 | 123.06 |
| 7.5 | 0.943 | 0.476 | 1.419 | 119.49 | 113.56 | 123.04 |
| 8.0 | 0.954 | 0.463 | 1.416 | 119.59 | 113.30 | 123.02 |
| 8.5 | 0.963 | 0.449 | 1.412 | 119.67 | 113.04 | 123.00 |
| 9.0 | 0.972 | 0.436 | 1.407 | 119.75 | 112.79 | 122.97 |
| 9.5 | 0.979 | 0.423 | 1.402 | 119.81 | 112.53 | 122.93 |
| 10.0 | 0.985 | 0.411 | 1.396 | 119.87 | 112.27 | 122.90 |
| 10.5 | 0.991 | 0.399 | 1.389 | 119.92 | 112.01 | 122.89 |
| 11.0 | 0.995 | 0.387 | 1.382 | 119.95 | 111.75 | 122.81 |
| 11.5 | 0.998 | 0.376 | 1.373 | 119.98 | 111.49 | 122.75 |
| 12.0 | 1.000 | 0.365 | 1.364 | 120.00 | 111.23 | 122.70 |
| 12.5 | 1.000 | 0.354 | 1.354 | 120.00 | 110.97 | 122.63 |

HHS Eingangsstrom: 1 A, Spulenabstand: 250 mm
 Input current for HHS: 1 A, Coil separation: 250 mm

Aufbau 1 (Parallelbetrieb): Längskomponente der magnetischen Feldstärke entlang der Spulenlängsachse
 Setup 1 (Parallel Operation): HHS 5205-1 magnetic field strength along longitudinal coil axis



Magnetfeldstärke in Parallelbetrieb: (blau) H1 [A/m], (grün): H2 [A/m] und (rot) Hges [A/m]
 bei 1 A Eingangsstrom an der N-Buchse
 Magnetic field strength in parallel operation: (blue) H1 [A/m], (green): H2 [A/m] and (red) Hges [A/m] for 1 A
 total current at N-connector



Aufbau 2: HHS 5205-1, serielle Verbindung von Einzelspulen ($f < 6$ MHz)
 Setup 2: HHS 5205-1, serial operation of coils ($f < 6$ MHz)

| Technische Daten: (serieller Betrieb) | | Specifications: (Serial Operation) |
|--|--|--|
| Windungszahl (pro Spule): | 1 | Number of turns (per coil): |
| Maximaler Spulenstrom: | 100 A, 1 min. | Maximum coil current: |
| Spulenstrom, nominell: | 70 A continuous | Nominal coil current: |
| Spulenabstand: | 250 mm | Coil spacing: |
| Max. Magn. Feldstärke: | 286 A/m, 1 min. | Maximum magnetic field strength: |
| Magn. Nennfeldstärke: | 200 A/m continuous | Nominal magnetic field strength: |
| Magn. Feldstärke bei 1 A Spulenstrom: | 2.86 A/m 129.13 dB μ A/m | Magnetic field strength @ 1 A Coil Current: |
| Erforderlicher Strom für 1 A/m: | 350 mA | Current required for 1 A/m: |
| Wandlungsmaß Strom-Feldstärke (Spulenfaktor): | 9.13 dB/m | Conversion factor current-to-field-strength (Coil factor): |
| Spulen-Durchmesser: | 500 mm | Coil diameter: |
| Abmessungen: | 0.52m x 0.72m x 0.42m | Mechanical dimensions: |
| Größtmöglicher Prüflingswürfel: | 25x25x25 cm | Max. volume of DuT: |
| Anschlüsse: | 4 mm banana jacks, Screw terminals (6 mm) | Terminals: |
| Nutzbarer Frequenzbereich: | DC - 6 MHz | Usable frequency range: |
| Induktivität (pro Spule): | 1.15 μ H | Inductance (per coil): |
| Induktivität (Spulenpaar): | 2.6 μ H | Inductance (Pair of coils): |
| Resonanzfrequenz (Spulenpaar): | > 22 MHz | Resonance frequency (Pair of coils): |
| Gewicht: | 5.5 kg | Weight: |

Aufbau 2: Serieller Betrieb der Spulen

Das Helmholtz-Spulenpaar besteht aus zwei Einzelspulen die elektrisch seriell miteinander verbunden sind um die Eingangsimpedanz bei tieferen Frequenzen zu erhöhen. Die Kalibrierung der Magnetfeldstärke lässt sich auf eine Strommessung (oder z.B. auf den Spannungsabfall an einem bekannten Vorwiderstand) zurückführen.

Setup 2: Serial operation of coils

The Helmholtz coil consists of a pair of coils which are serially connected in order to increase the input impedance at low frequencies.

The calibration of the magnetic field is finally traceable to a current measurement (or to a voltage drop at a known resistor).

Die Anschlussleitungen vom Generator zur Helmholtzspule sollten verdreht werden, um unerwünschte Einkopplungen magnetischer Flüsse zu vermeiden. Die Klemmen der Spule sind mit Kennbuchstaben A, B, C und D gekennzeichnet. Der Generator (Stromquelle, Audio- oder HF-Verstärker ...) wird mit den Klemmen A und C der Spule verbunden. Das kurze, mitgelieferte Kabel verbindet die Klemmen B und D. Die mit der HHS 5205-1 erzeugbare Magnetfeldstärke bei einer Stromstärke von 1 A und in seriellem Betrieb der Spulen ist in Tabelle 2 zu sehen.

The wires which are used to connect the current source to the Helmholtz coil should be twisted to avoid an unwanted injection of magnetic flux.

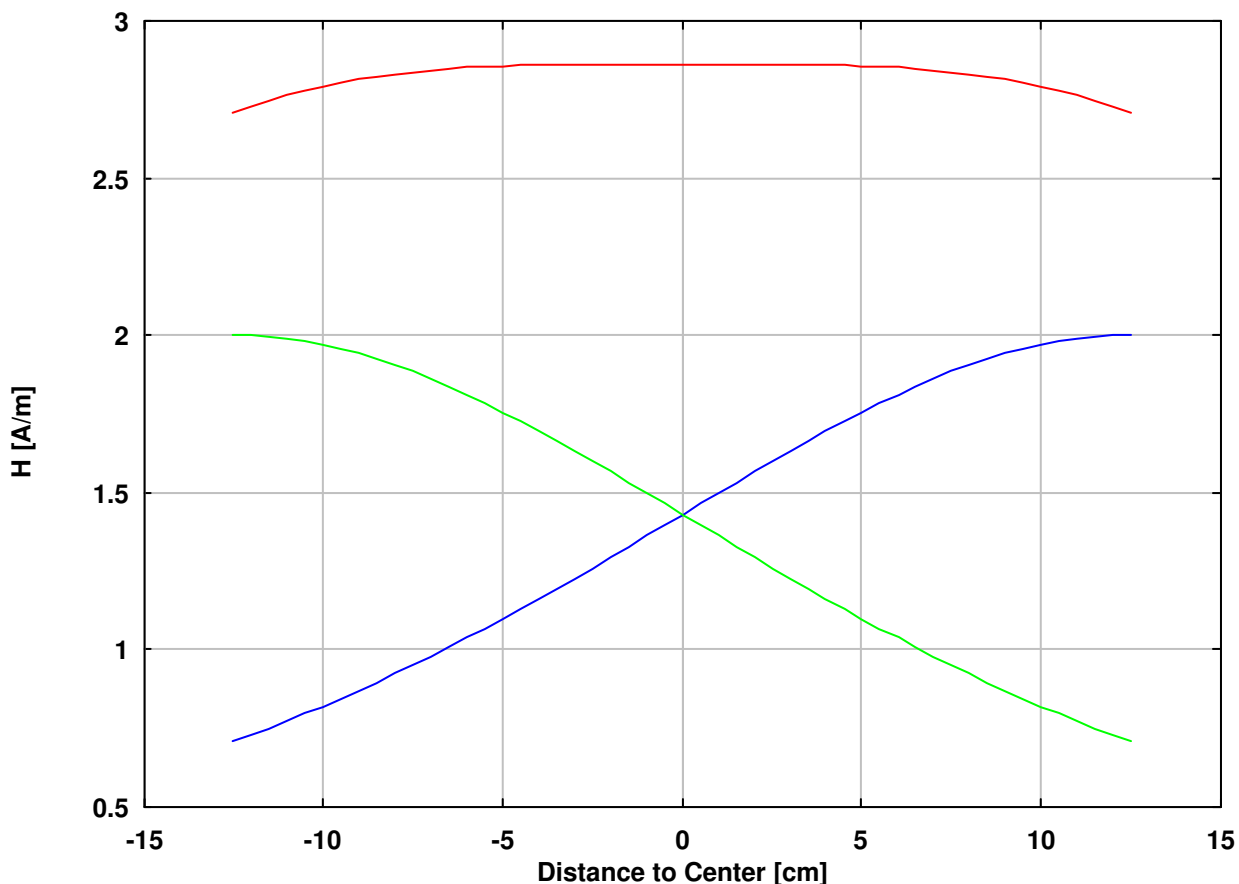
The coil terminals are assigned with the characters A, B, C and D. The generator (current source, audio- or HF-amplifier...) is connected to the terminals A and C while the terminals B and D are interconnected with the short cable that is included in the scope of the delivery.

The produced magnetic field strength in serial operation of the coils and for a input current of 1 A is listed in the following table 2.

Tabelle 2: Spulen sind seriell verbunden, Spulenstrom 1 A.
 Table 2: serial operation of coils, coil current 1 A.

| Längskomponente der magnetischen Feldstärke entlang der Spulenlängsachse <i>Magnetic field strength, longitudinal component along rotational axis</i> | | | | | | |
|---|-------------|-------------|---------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| Abstand zur Spulenmitte <i>Distance to center [cm]</i> | H1 [A/m] | H2 [A/m] | Hges [A/m] | H1 [dB μ A/m] | H2 [dB μ A/m] | Hges [dB μ A/m] |
| 0.0 | 1.431 | 1.431 | 2.862 | 123.11 | 123.11 | 129.13 |
| 0.5 | 1.465 | 1.397 | 2.862 | 123.32 | 122.90 | 129.13 |
| 1.0 | 1.500 | 1.363 | 2.862 | 123.52 | 122.69 | 129.13 |
| 1.5 | 1.534 | 1.328 | 2.862 | 123.71 | 122.47 | 129.13 |
| 2.0 | 1.567 | 1.295 | 2.862 | 123.90 | 122.24 | 129.13 |
| 2.5 | 1.601 | 1.261 | 2.862 | 124.09 | 122.01 | 129.13 |
| 3.0 | 1.634 | 1.228 | 2.861 | 124.26 | 121.78 | 129.13 |
| 3.5 | 1.666 | 1.195 | 2.861 | 124.43 | 121.55 | 129.13 |
| 4.0 | 1.697 | 1.163 | 2.860 | 124.60 | 121.31 | 129.13 |
| 4.5 | 1.728 | 1.131 | 2.859 | 124.75 | 121.07 | 129.12 |
| 5.0 | 1.757 | 1.100 | 2.857 | 124.90 | 120.83 | 129.12 |
| 5.5 | 1.786 | 1.069 | 2.855 | 125.04 | 120.58 | 129.11 |
| 6.0 | 1.813 | 1.039 | 2.852 | 125.17 | 120.33 | 129.10 |
| 6.5 | 1.839 | 1.009 | 2.848 | 125.29 | 120.08 | 129.09 |
| 7.0 | 1.863 | 0.980 | 2.844 | 125.40 | 119.83 | 129.08 |
| 7.5 | 1.886 | 0.952 | 2.838 | 125.51 | 119.58 | 129.06 |
| 8.0 | 1.907 | 0.925 | 2.831 | 125.61 | 119.32 | 129.04 |
| 8.5 | 1.926 | 0.898 | 2.823 | 125.69 | 119.06 | 129.02 |
| 9.0 | 1.943 | 0.872 | 2.814 | 125.77 | 118.81 | 128.99 |
| 9.5 | 1.958 | 0.846 | 2.804 | 125.83 | 118.55 | 128.95 |
| 10.0 | 1.970 | 0.821 | 2.792 | 125.89 | 118.29 | 128.92 |
| 10.5 | 1.981 | 0.797 | 2.778 | 125.94 | 118.03 | 128.87 |
| 11.0 | 1.989 | 0.774 | 2.763 | 125.97 | 117.77 | 128.83 |
| 11.5 | 1.995 | 0.751 | 2.746 | 126.00 | 117.51 | 128.77 |
| 12.0 | 1.999 | 0.729 | 2.727 | 126.02 | 117.25 | 128.72 |
| 12.5 | 2.000 | 0.707 | 2.707 | 126.02 | 116.99 | 128.65 |
| Spulenstrom: 1 A, Spulenabstand: 250 mm <i>Coil Current: 1 A, Coil Separation: 250 mm</i> | | | | | | |

Aufbau 2 (Serieller Betrieb): Längskomponente der magnetischen Feldstärke entlang der Spulenlängsachse
Setup 2 (Serial Operation): HHS 5205-1 magnetic field strength along longitudinal coil axis



Magnetfeldstärke in serielltem Betrieb: (blau) H1 [A/m], (grün): H2 [A/m] und (rot) Hges [A/m]
bei 1 A Spulenstrom

Magnetic field strength for serial operation: (blue) H1 [A/m], (green): H2 [A/m] and (red) Hges [A/m]
for 1 A input current

Allgemeine Hinweise:

Die Helmholtzspule sollte in ausreichendem Abstand von möglichen Magnetfeldquellen (z.B. Transformatoren in Netzteilen von Messgeräten, stromdurchflossenen Leitern, Bildschirmen, Elektromotoren, Lautsprecher usw.) auf einem Tisch positioniert werden. Alle magnetischen Metallteile (d.h. Eisen / Stahl, Kobalt und Nickel) sollten aus der unmittelbaren Spulumgebung entfernt werden.

Zur Kontrolle kann die magnetische Feldstärke im Innern des Spulenpaares gemessen werden. Bei falschem Anschluss wird genau in der Mitte zwischen den Spulen ein starker Feldstärkeabfall festzustellen sein, da sich die Felder der Spulen gegenseitig aufheben.

General information:

The Helmholtz coils should be installed on a table in sufficiently large distance from (potential) sources of magnetic fields, e.g. transformers in power supplies, conductors carrying high currents, monitors of personal computers, loudspeakers, cathode ray tubes (CRT) and so on. All kinds of magnetic material (e.g. steel, nickel, cobalt) should be removed from the near environment of the coil.

An additional verification can be done by measuring the magnetic field strength between the coils. Assuming a wrong connection, the field strength drops significantly in the center between the coils, because the superimposed fields compensate each other.

Feldstärkebestimmung:

Zur Bestimmung der Magnetfeldstärke eignen sich im wesentlichen zwei Verfahren:

1. Bestimmung der Feldstärke mit Hilfe einer Sensorspule.

Dieses Verfahren empfiehlt sich bei hochfrequenten Messungen für parallel geschaltete Spulen.

2. Bestimmung des Spulenstroms

- mit kalibriertem Stromwandler,
- durch Messung des Spannungsabfalls an einem bekannten Vorwiderstand,
- direkte Strommessung.

Dieses Verfahren ist bevorzugt für niedrige Frequenzen und der seriellen Beschaltung der Spulen einzusetzen.

Die direkte Strommessung hat den Nachteil, dass die Messgeräte bei hohen Dauerströmen relativ heiß werden, was zu erhöhter Messunsicherheit und sogar zur Zerstörung führen kann.

Die Messung mit einem Stromwandler ist thermisch unkritisch und darüber hinaus kann eine Potentialtrennung zwischen Messkreis und dem Ausgangskreis des Verstärkers erreicht werden.

Bei der Messung des Spannungsabfalls an einem bekannten Vorwiderstand (z.B. 100 mΩ / 20 W bis ca. 14 A oder auch 10 mΩ / 100 W für höchste Ströme) muss für ausreichende Wärmeabfuhr (Kühlkörper) und Potentialtrennung bei netzbetriebenen Messgeräten gesorgt werden. Bei kleinen Vorwiderständen entsteht zwar weniger Wärme, jedoch können unerwünschte Übergangswiderstände schnell in die Größenordnung des Vorwiderstandes kommen und damit unnötig hohe Messunsicherheit erzeugen. Bei Frequenzen ab einigen kHz kann die Induktivität des Shunts nicht mehr vernachlässigt werden, es empfiehlt sich daher mit Shunt zu messen, dessen Impedanz Z bekannt ist (z.B. Schwarzbeck SHUNT 9571).

Bei der Feldstärkebestimmung mit Hilfe einer Sensorspule erreicht man ebenfalls Potentialtrennung und thermisch unkritische Verhältnisse.

Field strength determination:

There are two methods to determine the actual magnetic field strength:

1. Determination of the field strength using a field monitoring loop.

This procedure is recommended for measurements in parallel operation of the coils and for high frequencies.

2. Determination of the coil current via

- current transformer clamp,*
- measuring the voltage drop at a well-known resistor,*
- direct current measurement.*

This procedure is recommended for serial operation of the coils and for low frequencies.

The direct current measurement has the disadvantage that the measurement equipment is heating up significantly, which leads to increased measurement uncertainty or could even cause a damage to the devices.

The use of a calibrated current transformer clamp has two advantages: the measuring circuit and amplifier output circuit are electrically isolated from each other and no thermal stress occurs.

In cases where the voltage drop at a known resistor (e.g. 100 mΩ / 20 W up to 14 A or 10 mΩ / 100 W for highest currents) is measured, it is essential to provide sufficient cooling and potential isolation of mains-operated voltmeters. Using small shunt resistor values (causing less heat dissipation) may however cause higher measurement uncertainties because the selected shunt resistance is hardly higher than the unwanted contact resistances. Beyond several kHz the inductance of the shunt resistor may become dominant. For that reason a low inductive shunt resistor with well-known impedance Z (like the Schwarzbeck SHUNT 9571) should be used.

The measurement of the magnetic field strength using a loop sensor (field monitoring loop) allows potential isolation without thermal stress as well.

Nützliche Umrechnungen für Magnetfelder:
Useful conversions for magnetic fields:

| B[μ T] | B[mT] | B[G] | H[A/m] | H[dB μ A/m] | H[dBpT] |
|-------------|---------|----------|----------|-----------------|---------|
| 0.100 | 0.0001 | 0.0010 | 0.0796 | 98.02 | 100.00 |
| 0.126 | 0.0001 | 0.0013 | 0.1000 | 100.00 | 101.98 |
| 0.500 | 0.0005 | 0.0050 | 0.3979 | 112.00 | 113.98 |
| 1.000 | 0.0010 | 0.0100 | 0.7958 | 118.02 | 120.00 |
| 1.257 | 0.0013 | 0.0126 | 1.0000 | 120.00 | 121.98 |
| 2.000 | 0.0020 | 0.0200 | 1.5916 | 124.04 | 126.02 |
| 2.513 | 0.0025 | 0.0251 | 2.000 | 126.02 | 128.00 |
| 5.000 | 0.0050 | 0.0500 | 3.979 | 132.00 | 133.98 |
| 6.283 | 0.0063 | 0.0628 | 5.000 | 133.98 | 135.96 |
| 10.00 | 0.0100 | 0.1000 | 7.958 | 138.02 | 140.00 |
| 12.57 | 0.0126 | 0.1257 | 10.00 | 140.00 | 141.98 |
| 20.00 | 0.0200 | 0.2000 | 15.92 | 144.04 | 146.02 |
| 25.13 | 0.0251 | 0.2513 | 20.00 | 146.02 | 148.00 |
| 50.00 | 0.0500 | 0.5000 | 39.79 | 152.00 | 153.98 |
| 62.83 | 0.0628 | 0.6283 | 50.00 | 153.98 | 155.96 |
| 100.00 | 0.1000 | 1.0000 | 79.58 | 158.02 | 160.00 |
| 125.66 | 0.1257 | 1.2566 | 100.00 | 160.00 | 161.98 |
| 200.00 | 0.2000 | 2.000 | 159.16 | 164.04 | 166.02 |
| 251.32 | 0.2513 | 2.513 | 200.0 | 166.02 | 168.00 |
| 500.0 | 0.5000 | 5.000 | 397.9 | 172.00 | 173.98 |
| 628.3 | 0.6283 | 6.283 | 500.0 | 173.98 | 175.96 |
| 1000.0 | 1.0000 | 10.000 | 795.8 | 178.02 | 180.00 |
| 1256.6 | 1.2566 | 12.566 | 1000.0 | 180.00 | 181.98 |
| 2000.0 | 2.0000 | 20.00 | 1591.6 | 184.04 | 186.02 |
| 2513.2 | 2.513 | 25.13 | 2000.0 | 186.02 | 188.00 |
| 5000.0 | 5.000 | 50.00 | 3979.0 | 192.00 | 193.98 |
| 6283.0 | 6.283 | 62.83 | 5000.0 | 193.98 | 195.96 |
| 10000.0 | 10.000 | 100.00 | 7958.0 | 198.02 | 200.00 |
| 12566.0 | 12.566 | 125.66 | 10000.0 | 200.00 | 201.98 |
| 20000.0 | 20.000 | 200.00 | 15916.0 | 204.04 | 206.02 |
| 25131.9 | 25.132 | 251.32 | 20000.0 | 206.02 | 208.00 |
| 50000.0 | 50.00 | 500.00 | 39790.0 | 212.00 | 213.98 |
| 62829.9 | 62.83 | 628.30 | 50000.0 | 213.98 | 215.96 |
| 100000.0 | 100.00 | 1000.00 | 79580.0 | 218.02 | 220.00 |
| 125660.0 | 125.66 | 1256.60 | 100000.0 | 220.00 | 221.98 |
| 200000.0 | 200.00 | 2000.00 | 159160.0 | 224.04 | 226.02 |
| 251319.0 | 251.32 | 2513.19 | 200000.0 | 226.02 | 228.00 |
| 500000.0 | 500.00 | 5000.00 | 397900.0 | 232.00 | 233.98 |
| 628299.0 | 628.30 | 6282.99 | 500000.0 | 233.98 | 235.96 |
| 1000000.0 | 1000.00 | 10000.00 | 795800.0 | 238.02 | 240.00 |