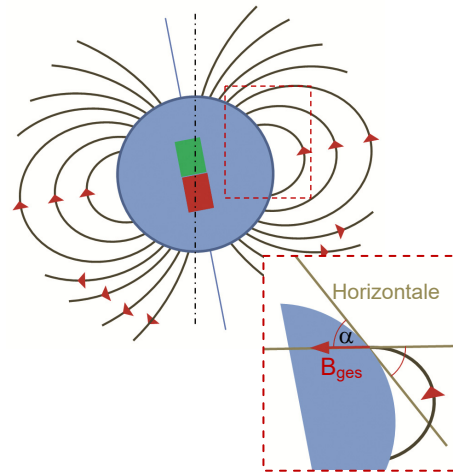


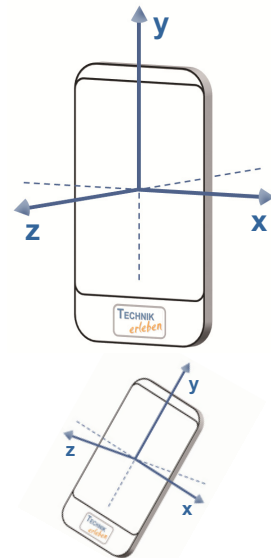
Im Gegensatz zum Kompass, der lediglich die horizontale Richtung des Erdmagnetfeldes anzeigt, kann mit dem internen Magnetfeldsensor eines Smartphones die **Raumrichtung** (dreidimensional) und auch die **Stärke des Erdmagnetfeldes** bestimmt werden.

Das Erdmagnetfeld zeigt eine ähnliche Struktur wie das Magnetfeld eines Stabmagneten. Die Feldlinien des Erdmagnetfeldes schließen in den Breitengraden zwischen den Polen und dem Äquator mit der Erdoberfläche einen sog. **Inklinationwinkel α** (siehe Abbildung) ein, der in Deutschland zwischen 60° und 70° liegt.



Material

- ▶ Smartphone mit **Magnetfeld-App** z. B. Sensor Kinetics, Physics Toolbox Magnetometer (iOS, Android) und **Kompass-App**, z. B. Kompass (in iOS enthalten), Smart Compass (Android)
- ▶ ein Blatt Papier
- ▶ App MagnetMeter - 3DVector Magnetometer and Accelerometer (iOS), 3D Compass and Magnetometer (Android)



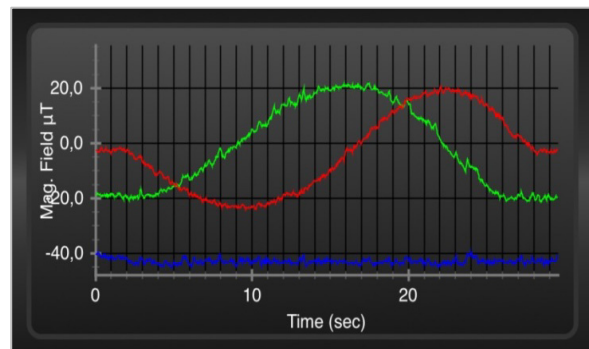
Aufbau, Durchführung, Arbeitsaufträge

Der interne Magnetfeldsensor deines Smartphones misst die drei Komponenten des Magnetfeldes getrennt voneinander, jeweils eine Komponente parallel zu einer der Kanten des Gehäuses (siehe Abbildung). Beachte dabei, dass das Koordinatensystem „fest“ mit dem Smartphone verbunden ist; eine Drehung des Smartphones bedeutet auch eine identische Drehung des Koordinatensystems.

- (1) Untersuche z. B. mithilfe der Sensorübersichts-App *Sensor Kinetics* deinen internen Magnetfeldsensor: Welchen maximalen Messbereich hat er? Nach welchem Funktionsprinzip arbeitet er? Informiere dich genauer.

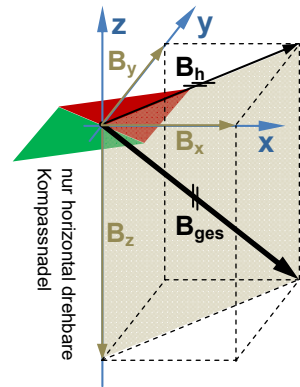
Magnetfeldsensoren in Smartphones verwenden den **Hall-Effekt** (hier entsteht in Abhängigkeit vom durchsetzenden Magnetfeld eine elektrische Spannung) oder aber oft **magnetoresistive Effekte** (z. B. **AMR**, **GMR**), bei denen ausgenutzt wird, dass sich in bestimmten metallischen Schichten der Widerstand abhängig vom Magnetfeld ändert.

- (2) **Stärke des Erdmagnetfeldes:** Lege das Smartphone im Freien an einer horizontalen Stelle auf das Blatt Papier. Richte das Smartphone mithilfe der Kompass-App nach Osten aus. Starte nun, z. B. in der App *Sensor Kinetics*, die Magnetfeldmessung und drehe das Smartphone auf dem Papier langsam um 360° . Merke dir die Drehrichtung (gegen den bzw. mit dem Uhrzeigersinn). Du müsstest ein ähnliches Diagramm wie nebenstehend erhalten.

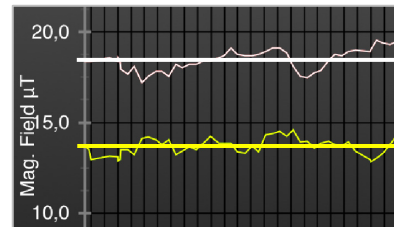


- ▶ Finde heraus, an welchen Stellen im Diagramm das Smartphone nach Norden, Westen bzw. Süden ausgerichtet war. Beschreibe und begründe! Beschrifte die nebenstehende Abbildung entsprechend mit Norden, Westen und Süden sowie B_x , B_y und B_z .

- Lies aus dem obigen Diagramm die Werte für die horizontale und vertikale Komponente des Erdmagnetfeldes ab. Bestimme mithilfe dieser Werte (durch Rechnung oder maßstabsgetreue Zeichnung) die gesamte magnetische Flussdichte B_{ges} des Erdmagnetfeldes sowie den Inklinationwinkel α (welcher Winkel ist das hier? siehe auch Abb. ganz oben).



- (3) **Kontrolliere dein Ergebnis aus (2):** Lege dazu wieder das Smartphone im Freien an einer horizontalen Stelle auf das Blatt Papier. Starte nun, z. B. in der App *Sensor Kinetics*, die Magnetfeldmessung und drehe das Smartphone solange auf dem Papier, bis die x-Komponente B_x null ist (in welche Richtung zeigt die Längsachse des Smartphones?). Kippe nun das Smartphone um eine geeignete Gehäusekante (welche?), bis nun auch die y-Komponente B_y null ist. Erläutere, in welche Richtung nun die z-Achse zeigt und welcher Wert der magnetischen Flussdichte nun gemessen wird. (Hinweis: Dasselbe geht noch komfortabler mit den 3D-Apps zum Magnetfeld.)
- (4) Vergleiche deine Ergebnisse auch mit den vom U.S. National Centers for Environmental Information (NCEI) nach dem World Magnetic Model (WMM) berechneten Werten: www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/.
- (5) **Lage des internen Magnetfeldsensors:** Wenn du eine 5-Cent-Münze langsam über das Smartphone schiebst (Schutzfolie nicht vergessen!), kannst du herausfinden, wo im Gerät sich der Magnetfeldsensor befindet.
- Erläutere, warum die Münze zu einer deutlichen Veränderung des Magnetfeldes führt.
 - Einige Smartphone-Apps arbeiten nach diesem Prinzip als sog. **Metalldetektoren**. Überlege dir die Grenzen dieser Metalldetektoren und beschreibe diese.
- (6) **„Kompassbau“:** Aus den Werten von B_x und B_y lässt sich die Richtung bestimmen, in welche die Längsachse des Smartphones zeigt (z. B. rechnerisch mit einer geeigneten trigonometrischen Funktion oder durch eine maßstabsgetreue Zeichnung).
- Probiere dies aus und überprüfe deine Ergebnisse mit einer Kompass-App.
(Aus den Werten der Abbildung mit $B_x \approx 19 \mu\text{T}$ und $B_y \approx 14 \mu\text{T}$ ergibt sich eine Ausrichtung von etwa 306° NW).
 - **Für Fortgeschrittene:** Automatisiere die Rechnung, indem du die (z. B. mit der App *Magnetometer*) aufgenommenen Daten auf einen Computer exportierst, um sie dort in einer Tabellenkalkulation weiterzubearbeiten. Nimm eine geeignete beispielhafte Messreihe auf (vgl. z. B. (2)) und probiere das aus. Erzeuge aus den Daten auch ein Diagramm. Führe für deine Werte auch weitere Berechnungen durch!
(Achte beim Export auf das Zahlenformat (Komma oder Punkt) sowie auf das CSV-Format (komma- oder semikolongetrennte Werte); finde heraus, wie man die Daten im CSV-Format in eine Tabelle importieren kann.)



Hinweise, Literatur und Links

- Durch den geringen Messbereich des internen Magnetfeldsensors eignet sich dieser eher nicht für andere Magnetfeldmessungen.
- **Kalibrierung** nicht vergessen (im Freien, keine Störfelder!; evtl. Schutzhülle entfernen wg. Magnetclip): Einige Apps lassen sich im Kalibriermodus starten, hier muss anschließend das Smartphone in Form einer liegenden Acht bewegt oder ein- bis zweimal um jede seiner drei Achsen gedreht werden; Wiederholungen sind evtl. notwendig!
- Informationen zum Erdmagnetfeld bei LEIFI-Physik unter: www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/magnetisches-feld-spule/ausblick/erdmagnetfeld
- Artikel zum Erdmagnetfeld auf „Welt der Physik“: www.weltderphysik.de/gebiet/planeten/erde/erdmagnetfeld/
- Informationen bei Wikipedia zum GMR-Effekt: <https://de.wikipedia.org/wiki/GMR-Effekt>
- siehe auch **Smartphone_Drehbewegungen** ☺
- Auswahl einiger Smartphone-Apps: siehe **Smartphone_Hinweise** ☺

