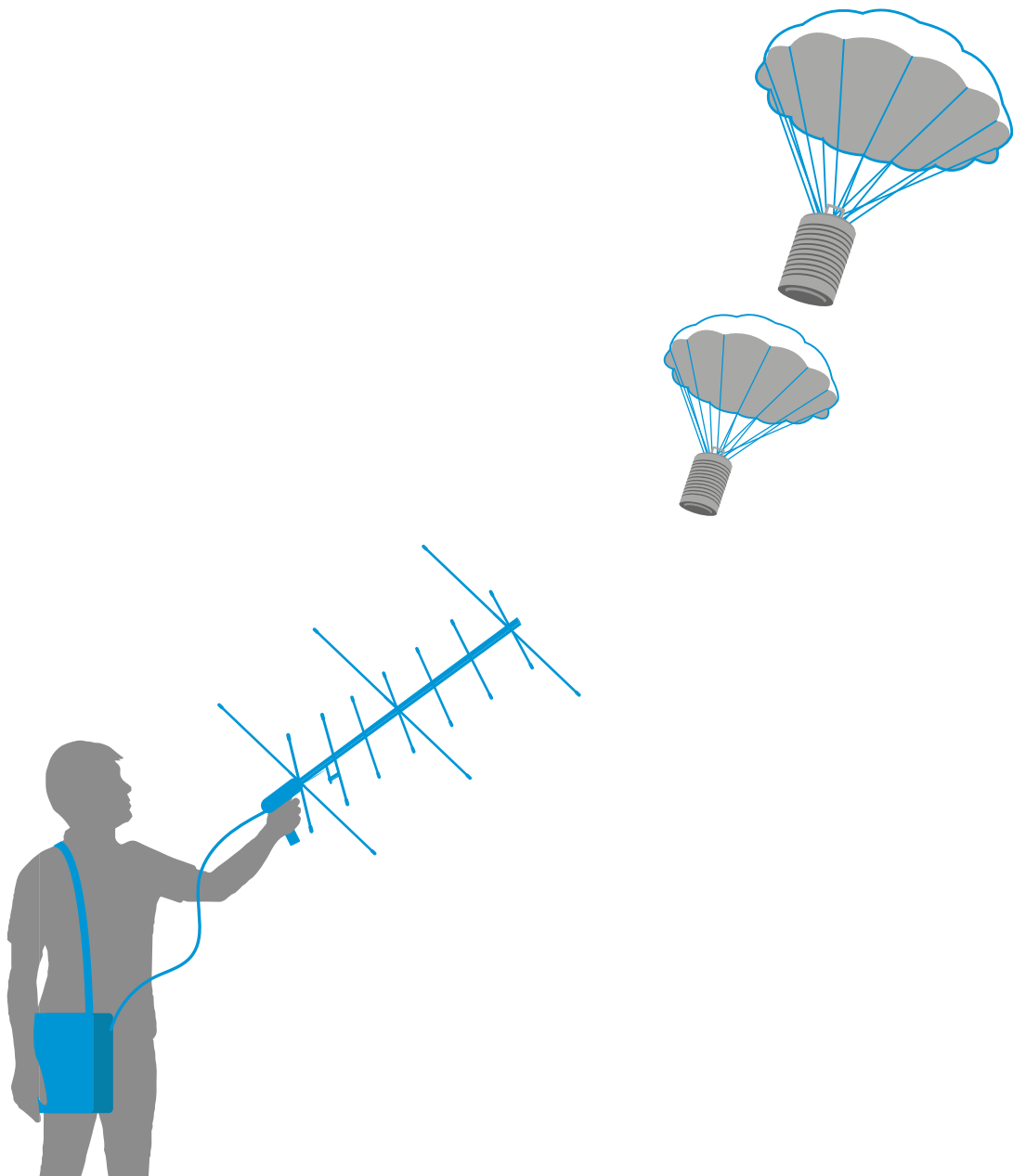
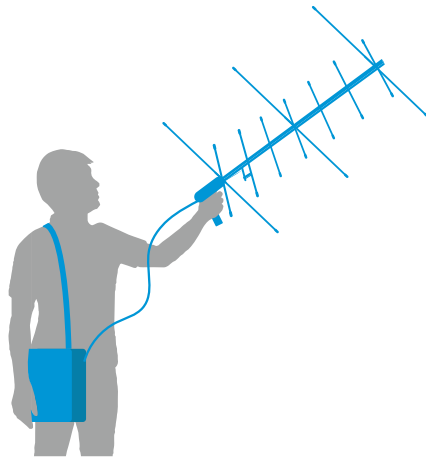


# Lehren mit dem All

## → KOMMUNIKATION ÜBER RADIO

Bodenkontrolle an Major CanSat





|  |         |
|--|---------|
| Kurzinformationen  | Seite 3 |
| Zusammenfassung der Aufgaben                                       | Seite 4 |
| Aufgabe 1: Die Grundlagen von Radiowellen                          | Seite 6 |
| Aufgabe 2: Radiowellen bei Satelliten und<br>bei der Kommunikation | Seite 6 |
| Aufgabe 3: Die ideale Frequenz wählen                              | Seite 6 |
| Aufgabe 4: AM oder FM?   | Seite 7 |
| Aufgabe 5: Daten empfangen   | Seite 7 |
| Aufgabe 6: Kommunikation erproben                                  | Seite 8 |
| Links  | Seite 9 |

**Lehren mit dem All – Kommunikation über Radio | T11**

[www.esa.int/education](http://www.esa.int/education)

**Das ESA Education Office freut sich über Feedback und Kommentare**  
[teachers@esa.int](mailto:teachers@esa.int)

**Eine Produktion von ESA Education**  
Copyright 2018 © European Space Agency

**Eine Übersetzung von ESERO Germany**

# → KOMMUNIKATION ÜBER RADIO

## Bodenkontrolle an Major CanSat

### Kurzinformationen

**Alter:** 14-20 Jahre

**Lehrplanbezüge:** Physik, Elektronik, Technik

**Schwierigkeit:** Mittel

**Benötigte Unterrichtszeit:** 120 Minuten

**Durchführungsort:** drinnen

**Unterstützendes Material:** Einführung in CanSat

**Kosten:** ca. 30 €

**Schlüsselbegriffe:** Radio, Kommunikation, Wellenlänge, Frequenz, Spektrum, CanSat

### Überblick

Um zu verstehen, wie Alltagsgeräte wie Smartphones, Router und Satelliten funktionieren, müssen wir zunächst einmal herausfinden, was Radiowellen sind und wie wir mit ihrer Hilfe Informationen übermitteln können. Radio Kommunikation ist ein zentrales Element unseres CanSat. Alle Daten, die für unser wissenschaftliches Experiment notwendig sind, werden mittels Radiowellen von CanSat an unsere Bodenkontrollstation geschickt, sobald der Satellit in Betrieb genommen wurde.

### Lernziele

- Die SuS erwerben Grundlagenwissen über Wellen und das elektromagnetische Spektrum.
- Die SuS verstehen, wie Modulation funktioniert und warum sie für die Übertragung von Informationen notwendig ist.
- Die SuS verstehen die Zusammenhänge zwischen Frequenz, Wellenlänge und Funkwellenausbreitung.
- Die SuS sind in der Lage, die für einen Kommunikationsprozess notwendigen Elemente zu identifizieren.
- Die SuS sind in der Lage, zwischen unterschiedlichen Kommunikationsprotokollen zu unterscheiden.
- Die SuS sind in der Lage, ihre eigenen Radio Module zu programmieren.
- Die SuS sind in der Lage, eine eigene Antenne zu bauen und mit ihrer Hilfe Informationen zu empfangen.

## → Zusammenfassung der Aufgaben

| Zusammenfassung der Aufgaben |  |  |   |                         |            |
|------------------------------|--|--|---|-------------------------|------------|
|                              | Bezeichnung                                      | Beschreibung   | Ergebnis  | Voraussetzungen         | Zeit       |
| 1                            | Grundlagen von Radiowellen                       | Einführung der Radiowellen und Verortung im EM Spektrum.   | Die SuS werden sich über die Wichtigkeit der zwei Schlüsselkomponenten von Wellen, Frequenz und Wellenlänge, klar.                                  | Keine                   | 10 Minuten |
| 2                            | Radiowellen bei Satelliten und der Kommunikation | Überblick darüber, wie Radiowellen praktisch in Kommunikationssystemen genutzt werden.                               | Die SuS erfassen die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten von Radiowellen.  | Vorangegangene Aufgaben | 10 Minuten |
| 3                            | Auswählen der idealen Frequenz                   | Diskussion über die Bedeutung von Bandbreite und ihrer Abhängigkeit von der Frequenz.                                | Die SuS sind in der Lage einzuschätzen, für unterschiedliche einfache Aufgaben die richtige Frequenz zu wählen.                                     | Vorangegangene Aufgaben | 15 Minuten |
| 4                            | AM oder FM?                                      | Die Fachtermini AM und FM werden eingeführt und die Bedeutung von Modulation für Radiokommunikation wird diskutiert. | Die SuS sind in der Lage, Modulation mittels eines einfachen Vergleichs zu erklären.  | Vorangegangene Aufgaben | 10 Minuten |
| 5                            | Das Empfangen von Daten                          | Die Funktionsweise von Antennen wird eingeführt und ihre Rolle bei Kommunikationssystemen diskutiert.                | Die SuS sind in der Lage, die grundlegende Funktionsweise von Antennen zu beschreiben.  | Vorangegangene Aufgaben | 20 Minuten |
| 6                            | Erprobung der eigenen Kommunikation              | Anleitung zum Schreiben von Quelltext zur Erprobung von Kommunikationssystemen.                                      | Die SuS sind in der Lage, mithilfe eines Radiomoduls und eines eigens geschriebenen Quelltexts Radiokommunikation zu erproben und zu demonstrieren. | Vorangegangene Aufgaben | 55 Minuten |

## → Einführung

In dieser Unterrichtseinheit untersuchen die SuS, wie Radiowellen in Kommunikationssystemen verwendet werden und verstehen, wie diese im Rahmen eines CanSat Projekts eingesetzt werden können. Zuvor müssen sie allerdings die wichtigsten Eigenschaften von Radiowellen sowie deren Verortung im elektromagnetischen Spektrum begreifen. Außerdem finden die SuS heraus, welche unterschiedlichen Arten von Radiowellen es gibt und welche unterschiedlichen Funktionen und Anwendungen diese haben. Am Schluss kommt der praktische Teil, bei dem die SuS ein Radiomodul verwenden, um Daten von ihrem ‚CanSat‘ zu empfangen.

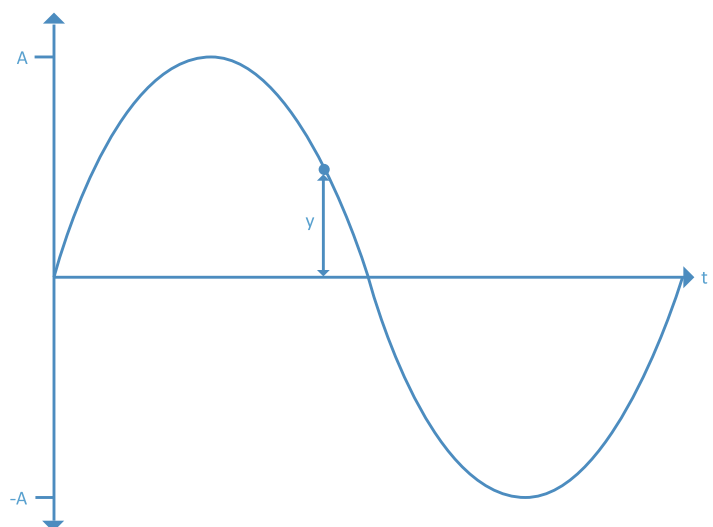
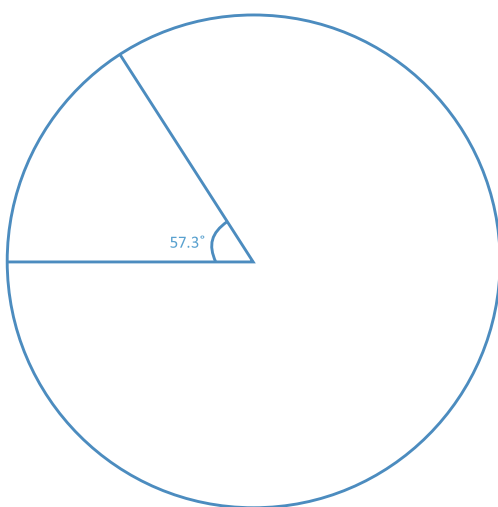
## Hintergrund: Wellen, ein mathematischer Ansatz

Die grundsätzliche Form einer Welle ist eine sinusförmige Welle, mit einer konstanten Amplitude  $A$  und einer Einzelfrequenz  $f$ . Die ‚Verschiebung‘ der Welle ( $y$ ) nach einer Zeit  $t$ , ist daher:

$$y = A \sin(2\pi ft)$$

Der  $2\pi$  Term resultiert daraus, dass es in einer ‚Oszillation‘ einer Sinuswelle  $2\pi$  **Radianen** gibt. Der Radiant ist eine Einheit die häufig in Zusammenhang mit sinusförmigen Kurven gebraucht wird. Einfach gesagt, kann ein Radiant als Maßeinheit für Winkel bezeichnet werden. Jeder Radiant hat ca. 57 Grad. Die Zeit ( $t$ ) wird in Sekunden aufgeteilt. Für die vorgegebene Welle sind  $2\pi f$  und  $A$  Konstanten, daher ist es trivial die Verschiebung ( $y$ ) zu jedem beliebigen Zeitpunkt zu bestimmen, wenn man die obenstehende Gleichung verwendet.

Diese zwei Diagramme sollen bei der Visualisierung helfen.



## → Aufgabe 1: Die Grundlagen von Radiowellen

In dieser Aufgabe werden die SuS mit Radiowellen und ihrer Verortung im elektromagnetischen Spektrum vertraut gemacht. Ferner werden die grundlegenden Eigenschaften von Wellen vorgestellt: Wellenlänge und Frequenz.

### Übung

Die SuS sollen eine Tabelle ausfüllen, die Informationen über Radiowellen enthält. In dieser Aufgabe können die SuS die Frequenzen entweder mithilfe von Abb. A1 schätzen oder sie anhand der Wellenlängenwerte aus dem Text berechnen, s. Tabelle 1. Die untenstehenden Werte sind nicht genau und sollten lediglich dazu verwendet werden, eine ungefähre Vorstellung davon zu vermitteln, was für eine Bandbreite an Werten möglich ist.

|             | Maßeinheit | Minimaler Wert  | Maximaler Wert  |
|-------------|------------|-----------------|-----------------|
| Wellenlänge | m          | 0.1             | mehrere 10 km   |
| Frequenz    | Hz         | $3 \times 10^4$ | $3 \times 10^9$ |

## → Aufgabe 2: Radiowellen bei Satelliten und bei der Kommunikation

In dieser Aufgabe werden die SuS mit der Bedeutung von Radiowellen für die Kommunikation sowie mit den unterschiedlichen Verwendungsmöglichkeiten im Radiowellenbereich vertraut gemacht. Die SuS informieren sich über die Eigenschaften unterschiedlicher Radiomodule, die bei CanSat verwendet werden.

### Übung 1

**1. Berechne die Freiraumdämpfung eines typischen CanSat Transmitters (f von 433 MHz) im Moment der Inbetriebnahme des CanSat (1 km) in Dezibel.**

Unter Verwendung der Gleichung auf dem Arbeitsblatt für die Freiraumdämpfung erhält man, wenn man die Werte für f und R ersetzt, 85 Dezibel.

### Übung 2

Die SuS füllen eine Wertetabelle über CanSat Transmitter aus.

| Transmitter | Frequenz              | Wellenlänge/m | Band |
|-------------|-----------------------|---------------|------|
| APC220      | 418Mhz-455Mhz         | 0.66 - 0.72   | UHF  |
| Lora        | diverse (e.g. 868Mhz) | 0.35          | UHF  |
| X-Bee       | 2.4Ghz                | 0.13          | UHF  |

## → Aufgabe 3: Die ideale Frequenz wählen

In dieser Aufgabe sollen die SuS die ideale Frequenz für ihre Kommunikationsvorrichtung wählen. Der Fokus liegt dabei auf der Bedeutung von Bandbreite und Reichweite. Mehrere einfache Szenarien sorgen dabei für den nötigen Kontext.

**1. Da jede Frequenz für einen speziellen Zweck verwendet wird, sollte man sich überlegen, welches Band man am besten für den Datentransfer unten wählt (niedrig/mittel/hoch):**

S.O.S über mehrere Kilometer senden – niedrige Frequenz

Bildübertragung vom CanSat zur Bodenkontrollstation – hohe Frequenz

Eine Textnachricht versenden – mittlere Frequenz

Die drei Typen des Datentransfers gibt es für alle möglichen Reichweiten. Sie benötigen unterschiedliche Datentransferraten. Zuerst das Versenden eines S.O.S. über mehrere Kilometer; dies ist ein einfach zu versendendes Datenpaket. Bei dieser Entfernung sollte man aber eine niedrige Frequenz (lange Wellenlänge) wählen. Umgekehrt benötigt die Übertragung von Videodaten eine viel höhere Bit-Rate, wenn auch für eine viel kürzere Distanz. Deshalb verwendet man hier eine höhere Frequenz. Eine Textnachricht liegt irgendwo zwischen diesen beiden Extremen, weswegen hier eine mittlere Frequenz bevorzugt werden sollte.

**2. Wenn der sog. ‚sweet spot‘ im UHF Band liegt, warum verwenden Satelliten dann meist das SHF Band?**

SHF Frequenzen besetzen einen weiteren ‚sweet spot‘ im Radiospektrum, da die kurze Länge dieser Wellen gut geeignet ist für Antennen mit enger Strahlenöffnung wie z.B. Parabolschüsseln und Hornantennen, die für Punkt zu Punkt Kommunikation, Datenverbindungen und Radar verwendet werden.

Dies wäre mit einer längeren Wellenlänge (z.B. im UHF Band) nicht möglich.

Andererseits sind diese die höchsten Frequenzen, die für terrestrische Langstreckenkommunikation verwendet werden können. Höhere Frequenzen im EHF Band (Millimeter Welle) werden stark von der Atmosphäre absorbiert, was die praktische Reichweite auf einen Kilometer beschränkt. Die hohe Frequenz verschafft Mikrowellenkommunikationsverbindungen eine hohe Informationskapazität (Bandbreite).

## → Aufgabe 4: AM oder FM?

Die Konzepte AM und FM werden eingeführt und der Begriff ‚Modulation‘ wird erklärt. Die SuS arbeiten mit einem simplen Vergleich, der ihnen verdeutlicht, wie Modulation funktioniert.

## Übung

**1. Wenn der sog. ‚sweet spot‘ im UHF Band liegt, warum verwenden Satelliten dann meist das SHF Band?**

Ohne eine Trennung der Frequenzen wäre es sehr wahrscheinlich, dass die einzelnen CanSat Teams Interferenzen von den Übertragungen der anderen Teams erhalten würden und dies würde den Erfolg der Mission gefährden!

## → Aufgabe 5: Daten empfangen

In dieser Aufgabe wird erklärt, wie der Kommunikationsprozess im CanSat Wettbewerb funktioniert und es wird diskutiert, wie man Antennen bedient. Ferner verschaffen sich die SuS ein tieferes Verständnis über die Komplexität von Antennen allgemein. Die drei meistverwendeten Arten von Antennen werden vorgestellt und ihre Unterschiede diskutiert.

## Übung

**1. Was für eine Art von Antenne verwendet man am besten für die Bodenkontrollstation und was für eine für den CanSat?**

Die Antenne an Bord des CanSat, sollte so isotrop wie möglich sein, damit sie die gleiche Menge an Energie

in alle Richtungen ausstrahlt. Monopolantennen sind nur halb so groß wie Dipolantennen und deshalb geeigneter für Aufgaben, bei denen eine kleinere Antenne gebraucht wird. Die mit der Bodenkontrollstation verbundene Antenne kann auf den CanSat gerichtet werden. So wird sie zu einer Hochleistungsrichtantenne, die mehr elektromagnetische Wellen aus einer bestimmten Richtung empfängt als aus anderen.

## 2. Kannst du die Länge berechnen, die ein Viertelwellenstrahler haben muss, um ein 2.4GHz Wi-Fi Signal zu empfangen?

Hier sollte die Gleichung aus der Aufgabe verwendet werden:

$$L = c/4f = 3 \times 10^8 / (4 \times 2.4 \times 10^9) = 0.03\text{m} = 3\text{cm}$$

## → Aufgabe 6: Kommunikation überprüfen

Bei dieser Aufgabe verwenden die SuS den Arduino und APC 220 Radiomodule, um eine einfache Radiokommunikation durchzuführen. Zur Vertiefung des Verständnisses, können sie zusätzlich ihre Ergebnisse mit einer Yagi-Antenne vergleichen.

## Übung

### 1. Wie weit kann sich ein Partner entfernen, bis man kein Signal mehr empfängt?

Die Ergebnisse aus dieser Übung können u.U. variieren.

### 2. Was könnte man verändern, um die Reichweite zu erhöhen?

Es gibt mehrere Faktoren, die verändert werden können, um die Reichweite einer Übertragung zu erhöhen. Zu ihnen zählen:

- Erhöhung der Übertragungsenergie.
- Reduktion der Frequenz (Erhöhung der Wellenlänge). Die Verbesserung der Reichweite durch eine reduzierte Frequenz - lässt sich jedoch lediglich auf der Makroebene beobachten. Es ist unwahrscheinlich, dass die SuS Veränderungen bei der Reichweite ihrer Sendeempfänger werden feststellen können.
- Eine ungehinderte Sichtlinie zwischen Sender und Empfänger. Hinweis: Dieses Phänomen lässt sich am besten beobachten, wenn die Hindernisse größer sind oder zumindest vergleichbar zur Wellenlänge der Übertragung.
- Zielgerichtete Übertragung (Yagi-Antenne).

### 3. Was könnte man verändern, um die Reichweite zu erhöhen?

Falls die SuS einen Viertelwellenstrahler (Gummiwurst) verwenden, um sowohl zu senden als auch zu empfangen, werden sie feststellen, dass die Reichweite reduziert ist. Gummiwurstantennen sind omnidirektional, weswegen ihre Ausgangsleistung in jedwede Richtung unter der einer Yagi-Antenne liegt. Deshalb macht es beim CanSat-Wettbewerb am meisten Sinn, im CanSat eine Gummiwurstantenne zu verwenden und eine Yagi-Antenne bei der Bodenkontrollstation.



## → Links

Beispiel für eine einfache WiFi-Antenne zum selber bauen:

[instructables.com/id/Easy-to-Build-WIFI-24GHz-Yagi-Antenna/](https://www.instructables.com/id/Easy-to-Build-WIFI-24GHz-Yagi-Antenna/)

Informationen zum APC220 Radiomodul:

[dfrobot.com/wiki/index.php/APC220\\_Radio\\_Data\\_Module\(SKU:TEL0005\)](https://dfrobot.com/wiki/index.php/APC220_Radio_Data_Module(SKU:TEL0005))

Beispiel Orte, an denen man ein 433 MHz LoRa Radiomodul kaufen kann:

[amazon.co.uk/Adafruit-Feather-RFM96-LoRa-Radio/dp/B071V71ZSD/](https://amazon.co.uk/Adafruit-Feather-RFM96-LoRa-Radio/dp/B071V71ZSD/)