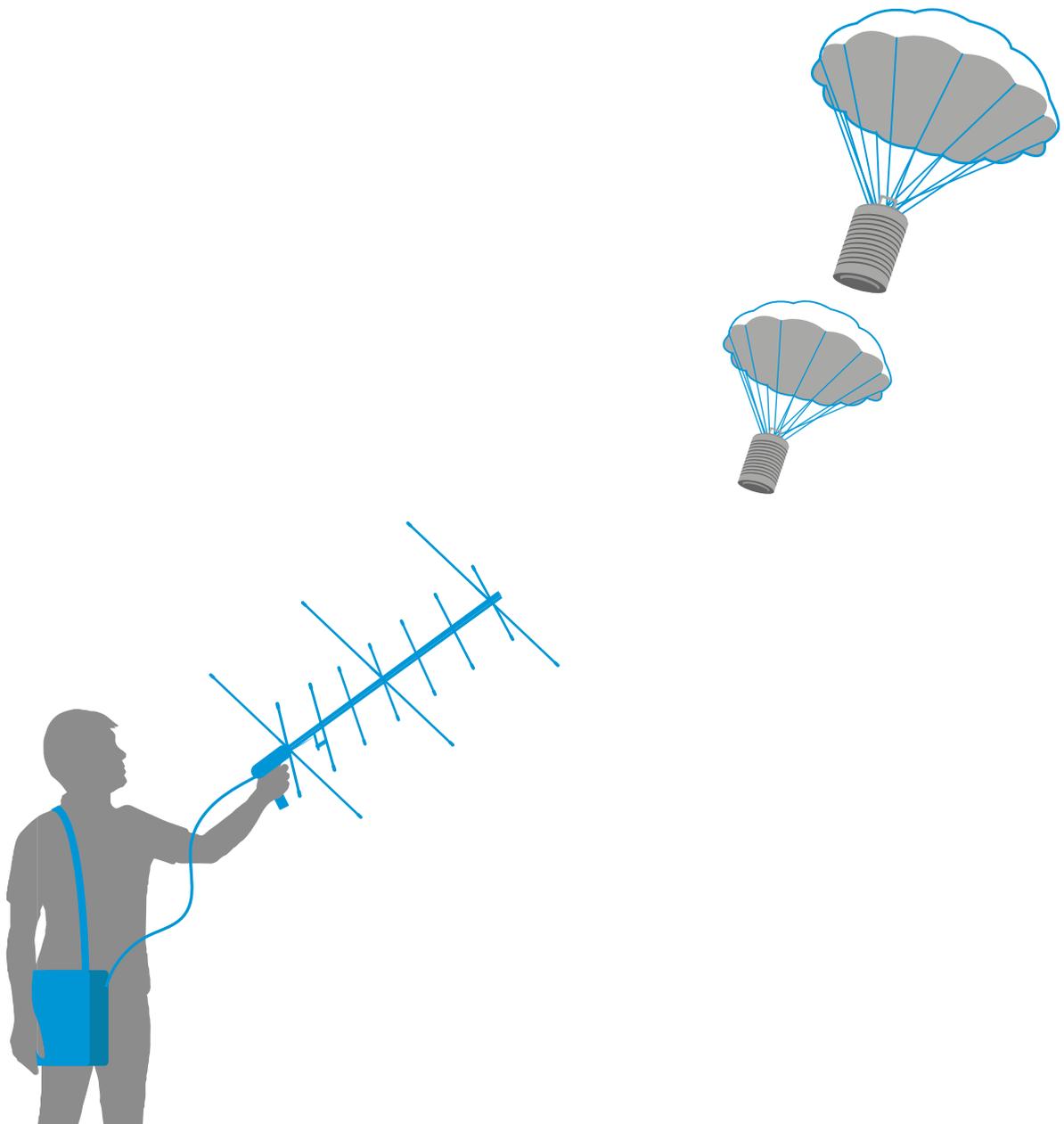
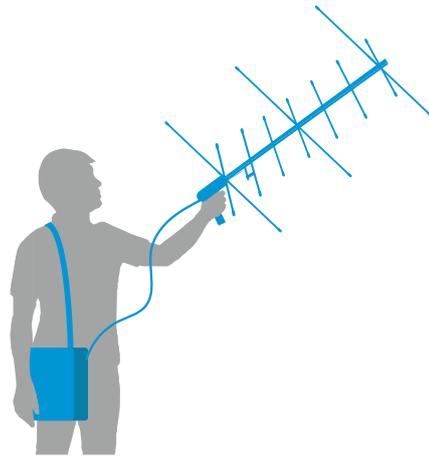


# Lehren mit dem All

## → KOMMUNIKATION ÜBER RADIO

Bodenkontrolle an Major CanSat





Aufgabe 1: Die Grundlagen von Radiowellen	Seite 3
Aufgabe 2: Radiowellen bei Satelliten und bei der Kommunikation	Seite 4
Aufgabe 3: Die ideale Frequenz wählen	Seite 6
Aufgabe 4: AM oder FM?	Seite 8
Aufgabe 5: Daten empfangen	Seite 11
Aufgabe 6: Kommunikation erproben	Seite 14

**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

### → Aufgabe 1:

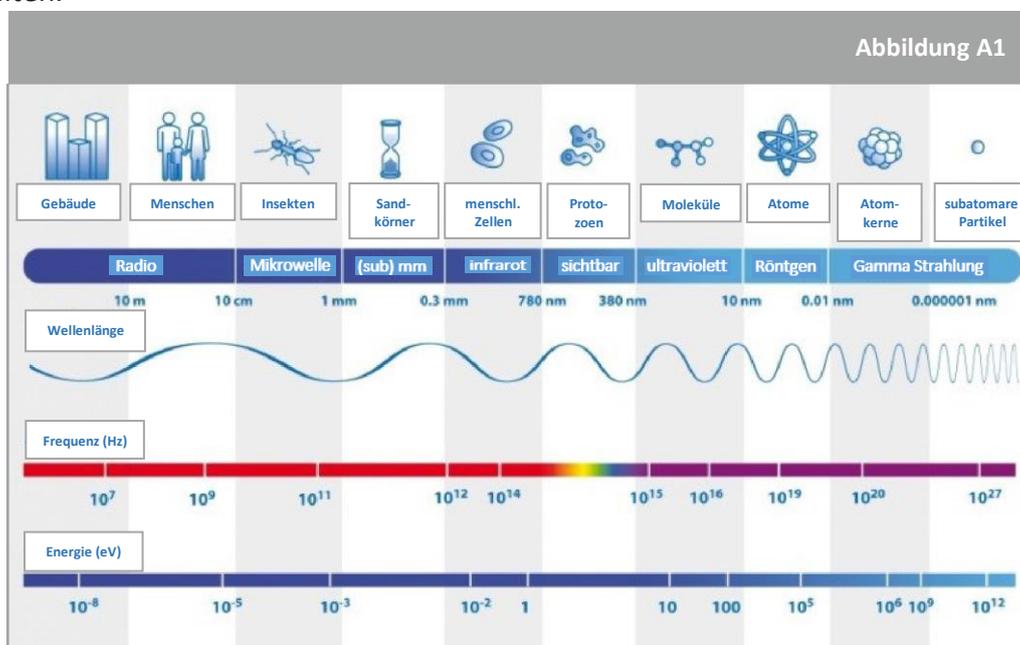
### Die Grundlagen von Radiowellen

Radiowellen umgeben uns tagtäglich, aber was genau ist das eigentlich, eine Radiowelle? Und wieso sind sie wichtig für die CanSat Mission? Der größte Teil unserer alltäglichen Kommunikation basiert auf Radiowellen. Dazu zählen nicht bloß Autoradios, sondern auch WiFi und Bluetooth. Wir werden gemeinsam herausfinden, was genau Radiowellen sind und wie wir diese dazu verwenden können, um mit unseren CanSats zu kommunizieren.

### Was ist eine Radiowelle?

Bei jeglicher Art von Kommunikation brauchen wir eine Quelle, einen Träger, einen Empfänger und ein Ausbreitungsmedium. Ein einfaches Beispiel dafür ist die mündliche Kommunikation: dabei kann die sprechende Person als Quelle angesehen werden, die erzeugte Schallwelle ist der Träger, die zuhörende Person ist der Empfänger und die Luft zwischen den beiden ist das Medium.

Radio Kommunikation besteht darin, mithilfe von elektromagnetischen Radiowellen Informationen von einem Ort zu einem anderen zu übermitteln. Radiowellen sind vergleichsweise lang und im Gegensatz zu Schallwellen, können sie sich auch im Vakuum ausbreiten.



↑ Das elektromagnetische Spektrum

Die Wellenlänge von Radiosignalen variiert zwischen ca. 0,1 mm bis zu mehreren zehn Kilometern.

Die Frequenz einer Welle (oder die Anzahl der Perioden pro Sekunde gemessen in Hz) kann mit der folgenden Gleichung von der Wellenlänge abgeleitet werden:

$$\lambda \cdot f = c$$

$\lambda$  ist die Wellenlänge (die Länge einer Periode einer Welle),  $f$  ist die Frequenz und  $c$  ist die Lichtgeschwindigkeit ( $c=3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ )

## Übung

Verwende die obenstehenden Informationen sowie die Gleichung, um die folgende Tabelle für Radiowellen auszufüllen:

	Maßeinheit	minimaler Wert	maximaler Wert
Wellenlänge			mehrere zehn km
Frequenz			

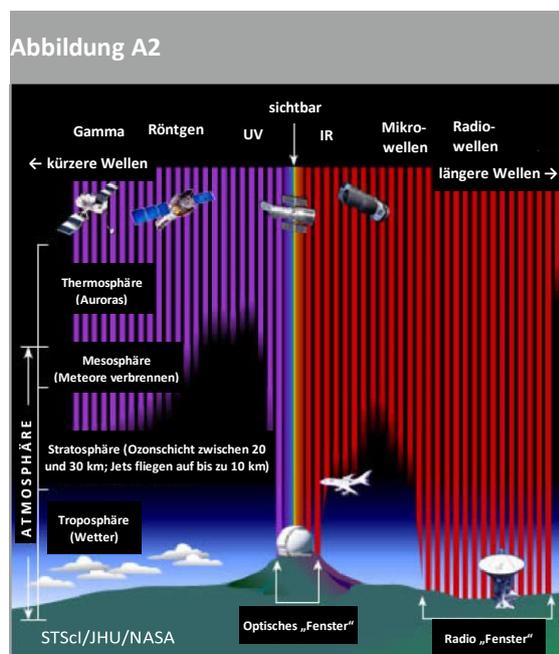
## → Aufgabe 2:

### Radiowellen bei Satelliten und bei der Kommunikation

Radiowellen sind bei der alltäglichen Kommunikation vermutlich die am häufigsten verwendete Art elektromagnetischer Wellen. Aber warum sind sie so nützlich? In dieser Aufgabe beleuchten wir die Vorteile von Radiowellen bei der Kommunikation und erörtern, wie wichtig die gewählte Frequenz und Wellenlänge der Radiowellen für unser CanSat Projekt sind.

### Ich habe meine Wellen verloren!

Es gibt im elektromagnetischen Spektrum nur wenige Arten von Wellen, die nicht von der Atmosphäre absorbiert werden. Das folgende Bild soll veranschaulichen, in welcher Höhe der Atmosphäre Wellen aus dem All absorbiert werden.



↑ Das EM Spektrum

Wie man erkennen kann, besetzen die Radiowellen einen besonderen Platz im elektromagnetischen Spektrum, da sie die Atmosphäre größtenteils passieren, ohne absorbiert zu werden!

Radiowellen und einige Mikrowellen stellen daher die beste Wahl für unseren Kommunikationssatelliten im Orbit dar.

### Freiraumdämpfung

Es gibt einen weiteren Aspekt, der bei der Radio-kommunikation bedacht werden muss. Freiraumdämpfung (Free-space path loss / FSPL) ist der Verlust von der Signalstärke einer elektromagnetischen Welle bei einer Übertragung in direkter Sichtlinie durch den freien Raum und ohne Hindernisse, die das Signal beeinträchtigen könnten. Aber wenn doch keine

Hindernisse vorhanden sind, warum nimmt dann die Signalstärke ab? Versuchen wir es mit einem Vergleich:

Stellen wir uns vor, wir blasen einen Ballon ein wenig auf und malen mit einem Stift einen Kreis darauf. Wenn wir versuchen in das Innere des Ballons zu schauen, stellen wir fest, dass das Material des Ballons zu dicht ist, um hindurchzuschauen. Jetzt blasen wir den Ballon weiter auf und malen einen weiteren Kreis derselben Größe auf seine Oberfläche. Die Fläche, die wir nun sehen ist dieselbe, aber da der Ballon sich in alle Richtungen ausgedehnt hat, ist das Material weniger dicht und nun können wir durch den Ballon hindurchschauen. Dasselbe Prinzip sorgt dafür, dass Freiraumdämpfung auftritt. Im Vakuum trifft die Freiraumdämpfung auf ideale Bedingungen, z.B. bei der Radiokommunikation zwischen Satelliten. Sie kann als Verhältnis zwischen der übermittelten Energie und der empfangenen errechnet werden:

$$FSPL = \text{Log}_{10} \left( \frac{P_{\text{übermittelt}}}{P_{\text{empfangen}}} \right) = \text{Log}_{10} \frac{(4 \cdot \pi \cdot R \cdot f)^2}{c^2} = 20 \text{Log}_{10} \frac{4 \cdot \pi \cdot R \cdot f}{c}$$

f ist hier die übertragene Frequenz und R die Distanz zwischen Sender und Empfänger. Bedenke, dies ist der Verlust, der im Vakuum stattfindet. Verluste auf der Erde werden in jedem Fall höher sein!

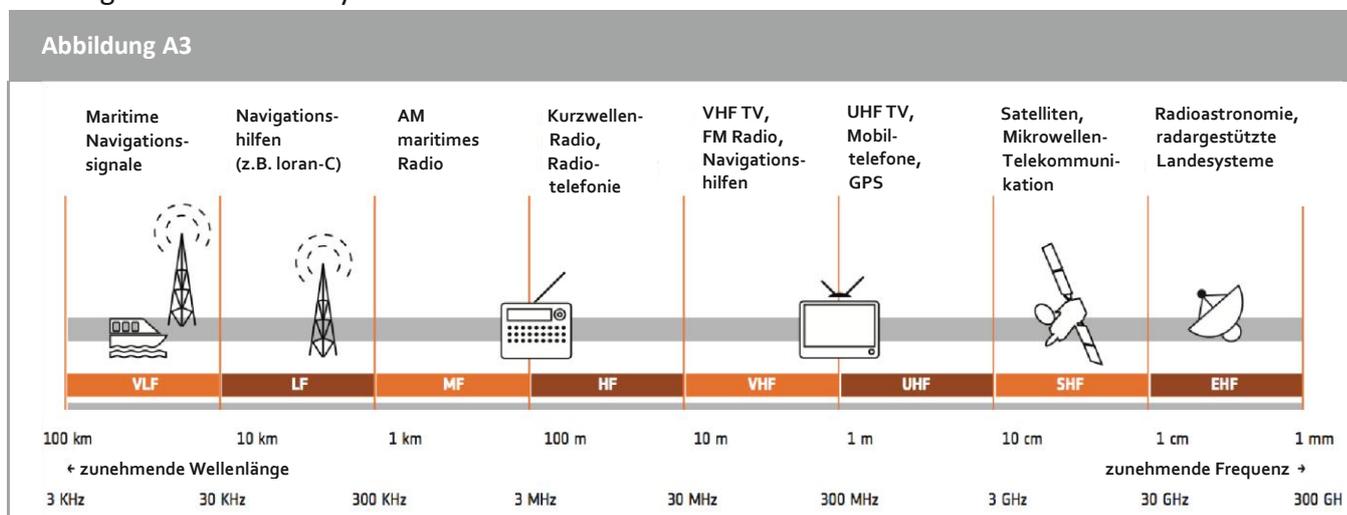
## Übung 1

1. Berechne die Freiraumdämpfung eines typischen CanSat Senders ( $f = 433 \text{ MHz}$ ) im Moment der Inbetriebnahme (1km).

## Erforschung des Radiospektrums

Befassen wir uns nun mit den Anwendungsbereichen der unterschiedlichen Arten von Radiowellen mit Blick auf ihre Frequenzen.

In Abb. A3 ist abgebildet, wie Radiowellen verschiedener Frequenzen in unterschiedlichen Arten der Kommunikation Verwendung finden, von maritimen Navigationssignalen bis hin zu radargestützten Landesystemen.



↑ [Das Radiospektrum und seine Anwendungsbereiche](#)

Wie wir in Abb. A3 erkennen können, verwenden wir für Satellitenkommunikation das SHF Band (super high frequency), mit Frequenzen zwischen 2 GHz und 30 GHz, und Wellenlängen zwischen 1 cm und 10 cm. Diese Wellen fallen in den Bereich des Mikrowellenbandes, demnach werden Radiowellen dieser Frequenzen Mikrowellen genannt.

## Übung 2

Vervollständige die untenstehende Tabelle mit den richtigen Wellenlängen und den Bändern der drei angegebenen CanSat-Sender.

Sender	Frequenz	Wellenlänge/m	Band
APC220	418 Mhz – 455 Mhz		
Lora	unterschiedlich (z.B. 868 Mhz)		
X-Bee	2.4 Ghz		

## → Aufgabe 3:

### Die ideale Frequenz wählen

Wenn man sich für eine Frequenz für ein Kommunikationsgerät entscheidet, muss man sich erst einmal zwei Fragen stellen. Erstens: ‚Wieviel Datenmenge möchte ich übertragen?‘ Zweitens: ‚Wie weit möchte ich meine Daten übertragen?‘. Sowohl Datenmenge als auch Reichweite werden von der verwendeten Frequenz beeinflusst. Schauen wir uns an, wie dies zustande kommt!

### Der Sweet Spot: Bandbreite gegen Reichweite

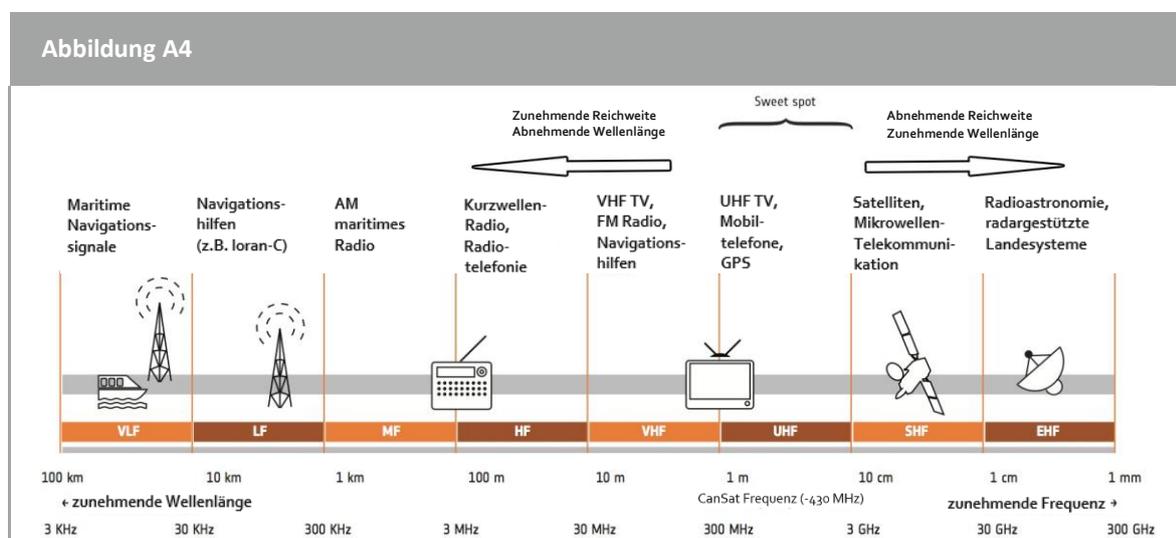
In der vorherigen Aufgabe hast du herausgefunden, dass alle CanSat-Sendeempfänger Informationen im selben Band des Radiospektrums übermitteln. Aber warum tun sie das? Bei der Auswahl unserer Frequenz spielen zwei Faktoren jeweils eine Schlüsselrolle: Bandbreite und Reichweite.

**Bandbreite** wird in Hertz gemessen. Sie stellt das Spektrum der Frequenzen dar, in das der größte Teil der Senderenergie fällt. Je mehr Informationen ein Signal übermitteln muss, desto mehr Bandbreite benötigt es. So hat z.B. ein System, das mit Frequenzen zwischen 150 und 200 MHz arbeitet, eine Bandbreite von 50 MHz (200MHz - 150MHz).

Will man verstehen, was Bandbreite ist, so muss man sich mit zwei wichtigen Schlüsselbegriffen auseinandersetzen: Schmalband und Breitband. Schmalbandsignale verfügen, wie der Name bereits verrät, über eine schmalere Bandbreite (im Kilohertzbereich). Sie können für Übertragungen mit niedriger Geschwindigkeit verwendet werden. Breitbandsignale hingegen haben eine Bandbreite im Megahertzbereich und können deshalb für viel schnellere Übertragungen genutzt werden, wie z.B. High Definition Video.

**Die Reichweite einer Kommunikationswelle** ist die Entfernung, die eine Welle zurücklegen kann, bei der sie noch einwandfrei empfangen werden kann. Der Signalstärkeverlust wird hier hauptsächlich durch Dämpfung und Absorption durch Hindernisse verursacht. In einer idealen Situation können alle Wellen theoretisch eine unendliche Distanz zurücklegen (man denke z.B. an Sternenlicht, das uns aus einer Entfernung von Millionen von Lichtjahren hier auf der Erde erreicht). Dennoch können Hindernisse in der Umgebung Wellen absorbieren und ablenken. Dabei werden Wellen mit größerer Länge von größeren Objekten beeinträchtigt und umgekehrt.

Jede Art von Radiokommunikation hat einen anderen Zweck: manchmal möchten wir viele Informationen über eine kurze Distanz übermitteln und manchmal sehr wenige Informationen über eine sehr lange Distanz. Deshalb müssen wir uns, wenn wir uns bei unserem CanSat für eine Frequenz entscheiden wollen, erst einmal darüber klarwerden, was unsere Ziele sind.



↑ [Das Radiospektrum und seine möglichen Anwendungsmöglichkeiten](#)

In Abb. 4 lässt sich folgendes erkennen: je höher die gewählte Frequenz, desto breiter die zur Verfügung stehende Bandbreite und desto geringer die Reichweite. Das heißt, dass wir viel mehr Informationen übermitteln können, wenn wir eine höhere Frequenz wählen. Die Reichweite aber wird erheblich geringer sein, als mit einer niedrigeren Frequenz.

Ganz so einfach stellt sich die Radiokommunikation jedoch nicht dar. Andere Faktoren wie Senderleistung, Empfängerqualität, Art, Größe und Höhe der Antenne, Art der Übertragung, Störgeräusche und Störsignale haben ebenfalls Einfluss auf die Datenübertragung.

Die Frequenz, die bei CanSat-Sendeempfängern verwendet wird, ist häufig vom Sweet Spot, der ‚Ultra High Frequenz‘ oder der ‚UHF‘ des Radiospektrums abhängig. Höhere Frequenzen sind weniger nützlich, weil sie in hohem Maße von der Atmosphäre absorbiert werden; demnach verringert sich ihre Reichweite. Und tiefere Frequenzen haben eine geringere Bandbreitenkapazität.

## Übung

1. Da sich jede Frequenz für unterschiedliche Verwendungen eignet, sollten wir uns nun Gedanken dazu machen, welche Bänder (niedrige, mittlere oder hohe Frequenz) man am besten für welche der drei untenstehenden Aufgaben verwendet:

Die Übertragung eines S.O.S.-Signals über mehrere Kilometer:

---

Die Übertragung von Videomaterial von einem CanSat zur Bodenstation:

---

Das Versenden einer SMS:

---

2. Wenn der Sweet Spot im UHF-Band liegt, warum verwenden Satelliten dann hauptsächlich das SHF-Band?

---

## Wusstest du schon...?

Die ESA betreibt über den ganzen Globus verteilt einige der technisch ausgereiftesten Verfolgungsstationen der Welt. Diese erlauben es Raumschiffen Kontakt mit der Erde zu halten, selbst wenn sie tief in unser Sonnensystem vorgestoßen sind. Ingenieure können die Position eines Raumschiffs, das gerade in einer Entfernung von mehr als 100.000.000 km von der Erde entfernt den Mars oder die Venus umkreist, mit einer Genauigkeit von +/- 1 km bestimmen.



[http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/09/Tracking\\_spacecraft\\_deep\\_across\\_the\\_void](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/09/Tracking_spacecraft_deep_across_the_void)

## → Aufgabe 4:

### AM, FM oder...?

AM und FM sind zwei Begriffe, die du eventuell schon vom Radio Hören kennst oder weil du einmal eine eigene Radiostation aufgebaut hast. Aber was genau bedeuten die Begriffe und was haben sie mit unserem CanSat zu tun? Finden wir es heraus!

## Jede Nachricht braucht einen Überbringer

Das 'M' in 'AM' und 'FM' steht für 'Modulation'. Bevor wir klären können, was das bedeutet, müssen wir uns erst einmal mit zwei weiteren Begriffen auseinandersetzen:

- **Signalwellen** beinhalten die Informationen oder Nachrichten, die übermittelt werden sollen (z.B. Luftfeuchtigkeitsdaten)
- **Trägerwellen** sorgen für die Übermittlung von Daten (meist sind das elektromagnetische Wellen wie z.B. Radiowellen, sichtbares Licht oder Wechselspannung)

Bei der Verwendung von Radiowellen als Trägerwellen zur Übermittlung von Informationen müssen diese Informationen zur verwendeten Radio Frequenz hinzugefügt werden. Dieser Vorgang wird als Modulation bezeichnet.

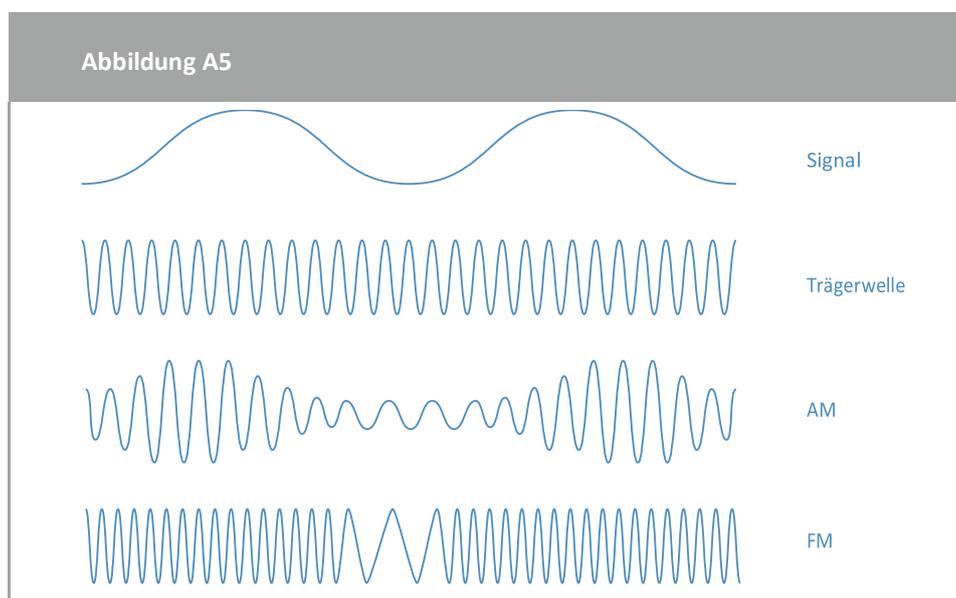
Probieren wir ein kurzes Gedankenexperiment, das uns dabei helfen soll, zu verstehen, was **Modulation** ist:

Nimm etwas Papier, wie z.B. einen Briefumschlag und versuche ihn 10 m weit zu werfen. Ist das möglich? Jetzt nimm einen mittelgroßen Stein und wickle ihn in den Papierumschlag ein. Kannst du den Umschlag samt Stein 10 m weit werfen?

Der Briefumschlag kann sein Ziel (10 m weit zu reisen) erreichen, weil wir eine Eigenschaft des Systems verändert haben. Somit konnte die Information in Form eines Umschlags durch Zuhilfenahme einer Trägerwelle in Form eines Steins übermittelt werden.

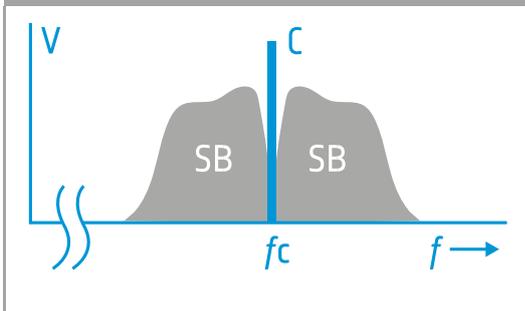
Bei der Elektrotechnik und Telekommunikation stellt die Modulation den Prozess der Signalübertragung dar. Dieses Signal kann z.B. aus einem digitalen Bitstrom oder einem analogen Audiosignal bestehen, verpackt in einem anderen, physisch übertragbaren Signal. Dabei werden die Eigenschaften des Signals verändert, z.B. die Frequenz oder die Amplitude. Es gibt viele Arten der Modulation, die gebräuchlichsten jedoch sind AM und FM.

- Bei **AM (amplitude modulation)** wird die Information dadurch übermittelt, dass die Amplitude der Trägerfrequenz verändert wird.
- Bei **FM (frequency modulation)** wird die Augenblicksfrequenz der Trägerwelle verändert.



↑ Der Unterschied zwischen einer AM- und einer FM-Modulation

Abbildung A6



↑ Moduliertes Radiosignal

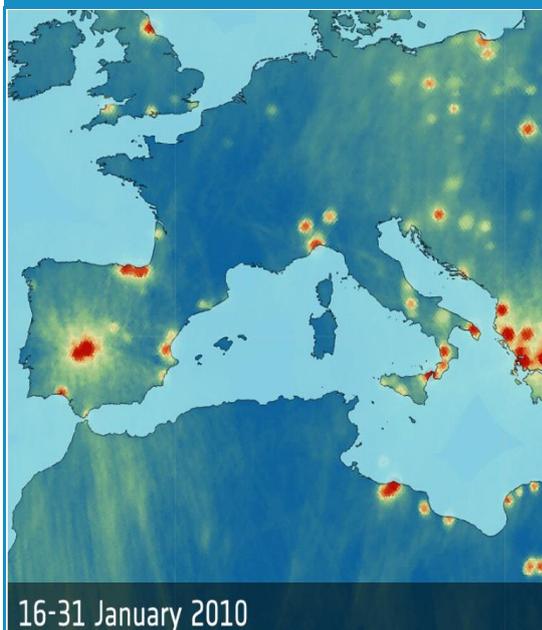
Links findest du ein Beispiel dafür, wie eine modulierte Welle aussieht. Die Spannung ( $V$ ) ist hier auf der Y-Achse dargestellt, weil das Signal hier gemessen wird. On-board Computer sind dazu programmiert, die Spannung auf das von uns gewünschte Niveau anzupassen.

In Abbildung A6 stellt  $f$  die Frequenz dar,  $f_c$  die Trägerfrequenz und SB die jeweiligen Seitenbänder. Man kann gut erkennen, wie die Signalspannung an den Rändern der Seitenbänder gegen 0 fällt. Je größer die Bandbreite, desto breiter die Seitenbänder.

## Übung

Die von uns im Alltag verwendeten Geräte arbeiten nie mit denselben Frequenzen. In Abbildung A3, Aufgabe 2 findest du weitere Beispiele von Alltagsgeräten und ihren Betriebsfrequenzen. So werden den einzelnen CanSat Teams der Europäischen CanSat-Challenge ebenfalls Frequenzen zugeteilt, die sich immer um mindestens 0,1 Hz unterscheiden. Kannst du erklären warum?

## Wusstest du schon...?



ESAs Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) Mission widmet sich der globalen Überwachung von Bodenfeuchte und Meersalzgehalt. Als 2009 ESAs SMOS Satellit in den Erdorbit geschickt wurde, hat sich herausgestellt, dass zahlreiche illegale Sender, verteilt auf dem ganzen Globus, das Signal stören. Durch die Zusammenarbeit mit nationalen, für den Schutz von Frequenzen zuständigen Behörden konnten jedoch mittlerweile mehr als 75% dieser Sender ausgeschaltet werden. Dieser Prozess ist sehr arbeitsintensiv und in manchen Regionen wie z.B. an der libyschen Küste und im östlichen Mittelmeerraum bleibt die Lage weiterhin kritisch, weil die Reinigungsstrategien dort nicht ohne weiteres funktionieren.

Welche Art der Modulation verwenden wir am besten?

Wir wissen:

- Wenn wir ein AM-Signal verstärken, werden Störgeräusche ebenfalls verstärkt. Bei einer FM-Modulation gibt es dieses Problem nicht.
- Bei einer FM-Modulation ist die Amplitude der Trägerwelle klein im Vergleich zur Amplitude der Seitenbänder. Demnach geht die meiste Übertragungsstärke in die Seitenbänder, wo die zu übertragenden Informationen sitzen.

- Bei einer FM-Übertragung können dieselben Informationen mit weniger Energieaufwand übermittelt werden als bei einer AM-Übertragung.
- Die Bandbreite für FM ist größer als die für AM.
- Die Modulatoren und Demodulatoren für FM-Übertragungen sind komplexer als die für AM-Übertragungen.

Mit einer Ausnahme sprechen die oben aufgeführten Faktoren allesamt für die Verwendung von FM und das ist auch der Grund, warum es im Alltag viel häufiger gebraucht wird als AM. Mittlerweile sind jedoch beide Modulationen veraltet, da modernere Modulationen wie z.B. FSK (frequency-shift keying) viel mehr Informationen übermitteln können als FM oder AM. Auch einer der am häufigsten verwendeten CanSat Sendeempfänger, der APC 220 verwendet die FSK-Modulation.

## → Aufgabe 5:

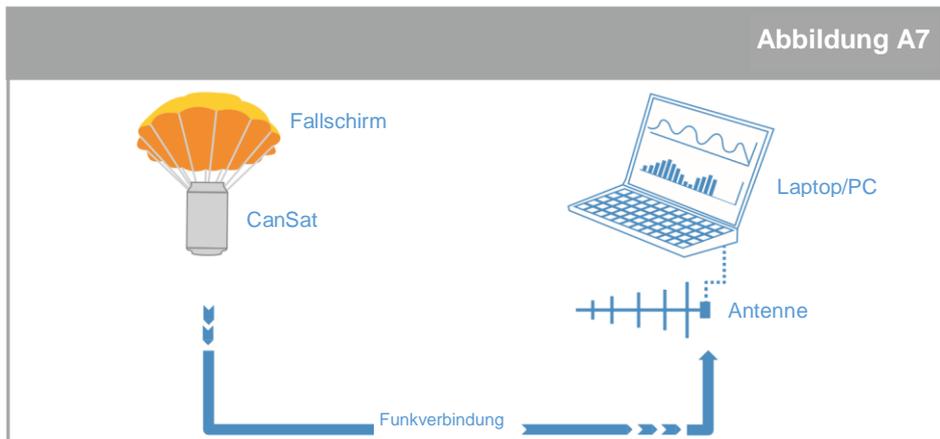
### Daten empfangen

Ein Sender erzeugt ein oszillierendes Signal auf einem Kabel, verbunden mit einer Antenne. Dieses Signal wird transformiert und als elektromagnetische Welle über die Antenne ausgestrahlt. Am empfangenden Ende der Kommunikation wird ein Teil dieser Welle abgefangen und von einer anderen Antenne zurücktransformiert in elektrische Spannung.

Dein CanSat Projekt wird ebenfalls zwei Antennen beinhalten: die erste ist die Antenne an Bord des CanSat, die zweite Antenne befindet sich an der Bodenkontrollstation. Die Antennen haben unterschiedliche Spezifikationen, obwohl sie ähnlich bedient werden. Wir müssen uns zunächst die Eigenschaften beider Antennen anschauen, um herauszufinden, was für eine Antenne im CanSat verbaut wird und was für eine in der Bodenkontrollstation.

### Eine Stehwelle abhören

Während er sich in der Luft befindet, übermittelt der CanSat über Radiowellen Informationen. Diese Radiowellen spüren wir mit der Antenne an der Bodenkontrollstation auf. Die Informationen werden dann von unserem Quelltext zu Werten weiterverarbeitet, die wir verstehen können, wie z.B. Temperatur- und Feuchtigkeitsmessungen. Ein Begriff, der dir häufiger begegnen wird, wenn du dich erst einmal näher mit Antennen auseinandersetzt, ist die ‚Viertel-Wellenlänge-Antenne‘. Dabei geht es um die tatsächliche Größe der Antenne im Vergleich zur Wellenlänge der Welle, die man empfangen möchte. Wenn die Welle mit der Antenne interagiert, werden im Inneren des Metalls Stehwellen von Elektronen erzeugt. Die Ausrichtung und Länge der Antenne stellt sicher, dass die schlussendliche Stehwelle die ankommende Welle akkurat reflektiert. Diese Bewegung von Elektronen (auch Spannung genannt) kann von einem Computer aufgezeichnet werden.



↑ Kommunikationsskizze CanSat-Bodenkontrollstation

Geräte, die Radioempfänger beinhalten, sind Fernseher, Radargeräte, Zweiwegeradios, Handys, WLAN-Netzwerke, GPS-Navigationsgeräte, Satellitenschüsseln, Radioteleskope, Bluetooth-Geräte, Garagentoröffner und Babyphones.

Die Qualität der Funkverbindung hängt hauptsächlich von drei Faktoren ab: Übertragungsstärke, Empfängerempfindlichkeit und Antenne. All diese Faktoren verändern sich je nach verwendetem Sender und verwendeter Antenne.

## Wusstest du schon...?



Das ist ESAs Hertz Hybrid European RF and Antennentestzone am ESTEC (früher bekannt als Compact Payload Test Range). Metallwände schützen vor auswärtigen Radiosignalen und eine Schaumstoffverkleidung absorbiert innere Radiosignale, um Gegebenheiten wie im unendlichen Vakuum des Alls zu simulieren.

## Übung

1. Welche Art von Antenne würdest du für die Bodenkontrollstation verwenden und welche für den CanSat?

---



---



---



---



---

## Arten von Antennen

Drei geläufige Arten von Antennen sind der Viertelwellenstrahler, die Gummiwurstantenne und die Yagi Antenne; wir werden nun alle drei Typen detailliert untersuchen.

## CanSat Antenne Typ 1: Viertelwellenstrahler:

Ein sehr beliebter Typ von **Viertelwellenstrahlern** ist die **Monopolantenne** mit geradem, stabförmigem Stromleiter. Der Grund für den Namen ist denkbar einfach: die Länge des Stromleiters beträgt genau ein Viertel der Wellenlänge der Radiowelle, die er sendet oder empfängt!

Die benötigte Länge des Viertelwellenstrahlers kann daher mithilfe der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$L = \frac{c}{4f}$$

Wobei: L hier die benötigte Antennenlänge ist [m]  
 c die Lichtgeschwindigkeit ( $3 \times 10^8$  km/s) ist [m/s]  
 f die Betriebsfrequenz ist [Hz]

Die Formel zeigt, dass die Länge der Antenne für einen 434 MHz Empfänger bei ca. 17,3 cm liegt. Der Draht kann direkt auf die Empfängerplatine gelötet werden. Alternativ kann man aber auch ein Koaxialkabel verwenden und die Antenne weiter weg vom Empfänger aufstellen. Wenn man ein Koaxialkabel verwendet, müssen die letzten 17,3 cm des äußeren Leiters entfernt werden, um die benötigte Viertelwellenantenne zu erzeugen. Diese muss dann mit Isolationsmaterial verkleidet werden, da ein elektrischer Kontakt u.U. den Sender beschädigen könnte.

## Übung

2. Kannst du die Länge für einen Viertelwellenstrahler errechnen, mit dem wir ein 2.4 Ghz Wi-Fi-Signal empfangen könnten?

---



---



---

## CanSat Antenne Typ 2: Gummiwurst

Abbildung A8

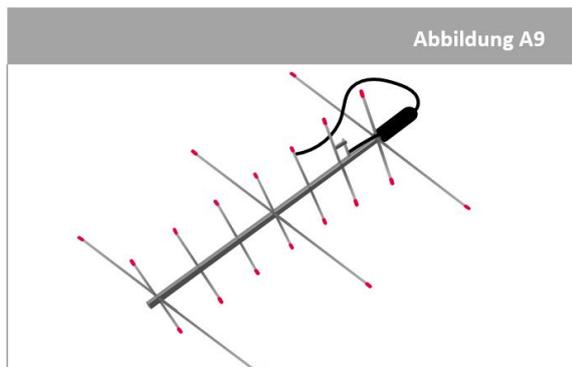


Die ‚Gummiwurst‘ ist weit verbreitet. Im Haushalt findet man sie z.B. am Router oder Breitbandmodem montiert. Innerhalb der Plastikverkleidung der Antenne, befindet sich eine Metallspirale, die dazu verwendet wird Signale zu empfangen und zu senden. Diese Art von

[↑ Gummiwurstantenne](#)

Antenne, wird normalerweise bei CanSat-Bausätzen verwendet.

## Bodenkontrollstation: Yagi Antenne



↑ "Arrow" Yagi Antenne, die mit zwei unterschiedlichen Frequenzen operiert

Eine andere Art von Antenne, mit der du u.U. schon vertraut sein könntest, ist die Yagi Antenne. Man findet sie häufig auf Häusern, wo sie, an altmodische Fernseher angeschlossen, analoge Fernsehsignale empfängt. Die Abbildung rechts zeigt eine Yagi Richtantenne, die mit zwei unterschiedlichen Frequenzen arbeitet. Sie setzt sich aus einem 433 MHz Yagi mit sieben Elementen und einem 145 MHz Yagi mit drei Elementen zusammen. Bemerkenswert ist hier die unterschiedliche Ausrichtung der beiden Elemente, die dafür

sorgt, dass die Stehwellen nicht voneinander beeinflusst werden. Um die Radiowellen eines CanSat zu empfangen, eignet sich eine Yagi Antenne sehr gut. Man kann sie einfach und aus billigen Materialien wie z.B. Holz und Kupferdrähten zusammenbauen.

Die CanSat Antenne muss ausreichend robust sein, um einen Raketenstart zu überstehen. eine Viertelwellenantenne für unseren CanSat optimal geeignet. Die Viertelwelle beschreibt die Länge der Antenne im Verhältnis zur Betriebsfrequenz. Die Sender des CanSat arbeiten normalerweise bei 433 MHz, obwohl die genauen Frequenzen, die die einzelnen CanSat-Teams zugeteilt bekommen, zwischen 433 und 435 MHz liegen werden. So gibt es keine Interferenzen mit anderen CanSat-Teams.

## Der Bau einer Yagi Antenne

Yagi Antennen sind ein gebräuchlicher Typ und werden deshalb von vielen CanSat-Teams verwendet. Man darf allerdings auch andere Typen verwenden, wenn man das möchte. Das verwendete Radiomodul hingegen fordert eine individuelle Entscheidung, basierend auf Missionszielen, dem zur Verfügung stehenden Budget und Platz. Es ist von größter Wichtigkeit, dass man sich vor dem Kauf die technischen Spezifikationen des Moduls anschaut, um die Eignung für die Mission sicherzustellen!

Den Aufbau einer Yagi Antenne kann man in Abb. A8 sehen. Es ist wichtig, dass der Abstand zwischen jedem der sogenannten ‚parasitären Elemente‘ und ihre Länge genau berechnet werden (es gibt zahlreiche Online-Tools, die dir dabei helfen). Die parasitären Elemente müssen Strom leiten können (ein Metallstab sollte ausreichen), dürfen aber mit den anderen Komponenten nicht elektrisch verbunden sein.

Eine detaillierte Schritt-für-Schritt Anleitung wie man eine 430 MHz Yagi Antenne baut, findest du auf: <https://www.youtube.com/watch?v=2paNzKMW-8c>. Solltest du eine ausgedruckte Version dieses Arbeitsblatts haben, kannst du auf YouTube auch einfach ‚DIY Yagi-Uda Antenna‘ eingeben, um das Video zu finden.

## Ohne Fleiß, kein Preis

Der Antennengewinn ist die Leistungszahl, welche sich aus Richtwirkung der Antenne und ihrer elektrischen Effizienz zusammensetzt. Bei einer Senderantenne beschreibt der Antennengewinn wie gut die Antenne Eingangsleistung in Radiowellen umwandelt, die in eine bestimmte Richtung ausgestrahlt werden. Bei einer Empfängerantenne beschreibt der

Antennengewinn wie gut ankommende Radiowellen aus einer bestimmten Richtung in elektrische Energie umgewandelt werden. Wenn keine Richtung vorgegeben ist, bezieht sich der ‚Gewinn‘ auf den Höchstwert des Gewinns, den Gewinn in Richtung der Hauptkeule der Antenne. Die Darstellung des Gewinns als Richtungsfunktion, wird Strahlungscharakteristik genannt.

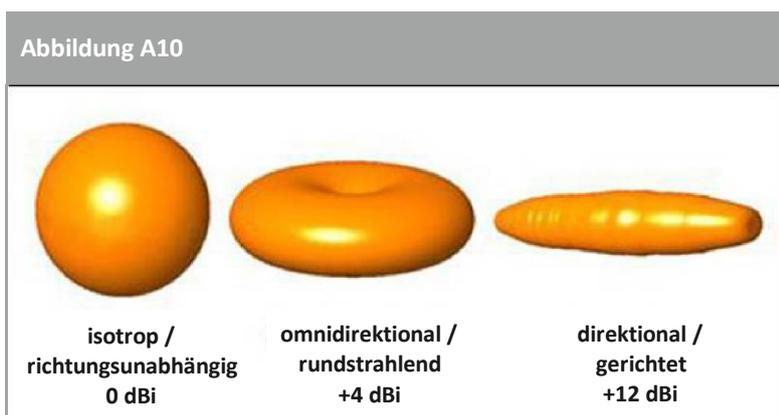
**Energiegewinn (oder vereinfacht Gewinn)** ist ein Maß ohne Einheit, das die Antenneneffizienz  $E$  aus Eingangsleistung  $P_{in}$  und Ausgangsleistung  $P_o$  und Richtwirkung  $D$  errechnet:

$$G = E_{Antenne} \cdot D = (P_o / P_{in}) \cdot D$$

Der Gewinn in Dezibel wird dagegen wie folgt errechnet:

$$G_{Decibel} = 10 \cdot \log_{10}(G)$$

Wenn die Richtwirkung in Dezibel umgewandelt wird, nennen wir dies den „Antennengewinn relativ zur isotropen Quelle (dBi)“. Allgemein gilt, je höher der Gewinn, desto effizienter die Leistung der Antenne und desto höher die Reichweite. Für je 6 dBi verdoppelt sich die Reichweite der Antenne.



↑ Beispiele für unterschiedliche Strahlungscharakteristiken und ihr Energiegewinn in Dezibel.

Wie aus den Bildern links ersichtlich wird, haben Richtantennen (wie die directionale Yagi Antenne) einen höheren Gewinn, dafür aber den Nachteil, dass sie Radiowellen nur gut aus einer bestimmten Richtung empfangen, bzw. in eine bestimmte Richtung senden können. Rundstrahlende (oder omnidirektionale) Antennen

hingegen, haben einen niedrigeren Gewinn in Sachen Dezibel, können aber in 360° senden oder empfangen.

## Überlegungen zum Gewinn der Yagi-Uda Antenne

Eine Vielzahl von Faktoren bzgl. des Antennendesigns beeinflussen ihren allgemeinen Gewinn:

**Anzahl von Elementen am Yagi:** Einer der Hauptfaktoren, die den Gewinn der Yagi Antenne beeinflussen, ist die Anzahl der Elemente. Typischerweise ist das wichtigste Element, das verbaut wird, der Reflektor, denn dieser sorgt für den meisten zusätzlichen Gewinn. Die restlichen Elemente sind sog. Direktoren.

**Abstand zwischen den Elementen:** Die Abstände können u.U. Einfluss auf den Gewinn der Antenne haben, nie aber so viel Einfluss wie die Anzahl der Elemente. Normalerweise gilt daher: je größer die Abstände zwischen den einzelnen Elementen, desto höher der Gewinn. Beim Aufbau der Antenne muss besonders auf die Installation des Reflektors und des ersten

Direktors geachtet werden, da die Abstände zwischen allen anderen Direktoren gleich sein müssen.

**Länge der Antenne:** Für die Berechnung der optimalen Positionen der verschiedenen Elemente einer Yagi Antenne hat sich herausgestellt, dass sich der Gewinn immer proportional zur Länge des Designs verhält. Was die Positionen der Elemente angeht, gibt es einen gewissen Ermessensspielraum.

## → Aufgabe 6:

### Kommunikation erproben

Jetzt, da wir die Komplexität der Radiokommunikation verstehen, sind wir bereit ein komplettes Kommunikationssystem zu bauen und zu testen! Bei dieser Aufgabe werden wir ein paar einfache Tests durchführen. Das benötigte Equipment sind die APC220 Sender und eine Gummiwurstantenne.

### Daten empfangen

Für deinen CanSat stehen dir viele unterschiedliche Sender und Empfänger zur Verfügung und wir können nicht alle im Detail besprechen. In dieser Aufgabe werden wir uns auf das Übertragen und Empfangen von Informationen mithilfe des APC220 Senders befassen!

**Hinweis:** Die untenstehenden Anweisungen funktionieren für deine individuelle Konfiguration u.U. nicht zu 100%, je nach verwendeter Arduino Version, Arduino Platine und Funkchip. Sollten Probleme auftauchen, ziehe das Datenblatt und die Gebrauchsanweisung zu Rate.

### Schritt 1: Die Bauteile

Zusätzlich zum Arduino und zum Computer werden noch zwei APC220 Sender benötigt, sowie zwei Gummiwurstantennen und ein geeigneter USB-TTL-Konverter. In dieser Anleitung verwenden wir den PL-2303 USB-TTL-Konverter.

**Hinweis:** Du wirst ebenso ein zweites Laptop oder eine externe Stromquelle für den Arduino brauchen.

### Schritt 2: Die Treiber

Um die Schnittstelle zwischen USB-TTL Konverter und deinem Computer herzustellen, musst du zunächst die Treiber installieren. Auf der folgenden Webseite findest du Links, die dich zum Download führen: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/APC220\\_Radio\\_Data\\_Module\(SKU:TEL0005\)#Communication\\_Test](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/APC220_Radio_Data_Module(SKU:TEL0005)#Communication_Test)

**Hinweis:** Mit Windows 8/10 Geräten gibt es in Verbindung mit den PL-2303HXA und PL-2303X USB-TTL Konvertern häufig Probleme. Sollte der Computer das Gerät nicht erkennen, überprüfe welche Version aufgespielt ist. Sind die Treiber erst einmal installiert, muss überprüft werden, ob das Gerät erkannt wird. Klicke dazu Start -> Device Manager und halte Ausschau nach den ‚Ports‘. Sind diese nicht gelistet, versuche es mit einem Reboot und einer erneuten Überprüfung.

### Schritt 3: Pairing des Senders mit dem Empfänger

Im nächsten Schritt müssen beide APC220 konfiguriert werden, sodass sie mit derselben Frequenz operieren. Nur so können sie miteinander kommunizieren.

Hierzu verwenden wir ein spezielles Arduino Sketch, das auf das UNO aufgespielt wird und mit dem man die Geräte konfigurieren kann.

Zuerst muss die APC220 config '.ino' Datei [heruntergeladen](#) werden.

Dann muss der Quellcode geöffnet und auf das Arduino aufgespielt werden.

Zuletzt muss man das APC220 mit dem Arduino UNO verbinden, so wie in der Abbildung unten (vom Digitalpin 8 zum GND):



Ist der APC220 erst einmal verbunden, öffne den 'serial monitor'. Jetzt sollte ein Menü erscheinen. Sollte das Menü nicht erschienen, gib 'm' in die Kommandozeile ein und drücke Enter.

Das Menü zeigt Anweisungen an, wie man den APC220 konfiguriert. Das Wichtigste ist, dass man bei beiden APC220-Modulen die gleiche Frequenz, Baud-Rate etc. einstellt.

**Hinweis:** Sollten in der Klasse mehrere Paare von APC220-Modulen gleichzeitig benutzt werden, ist es ratsam jedes Paar auf eine eigene Frequenz einzustellen, es sei denn man möchte den Funk der anderen Gruppen mithören! Bedenke: der Verarbeitungsbereich des APC220 liegt 420-450 Mhz.

Ein Beispielbefehl für die Konfiguration des APC220 findest du im Menü.

## Schritt 4: Zeit für einen Test!

Wir sind nun bereit für den ersten Test Daten zu senden und zu empfangen.

Um ihn durchzuführen, müssen wir zwei Softwares verwenden, das Arduino IDE, das du bereits kennst, und 'Serial Port Utility', welches du [hier](#) herunterladen kannst.

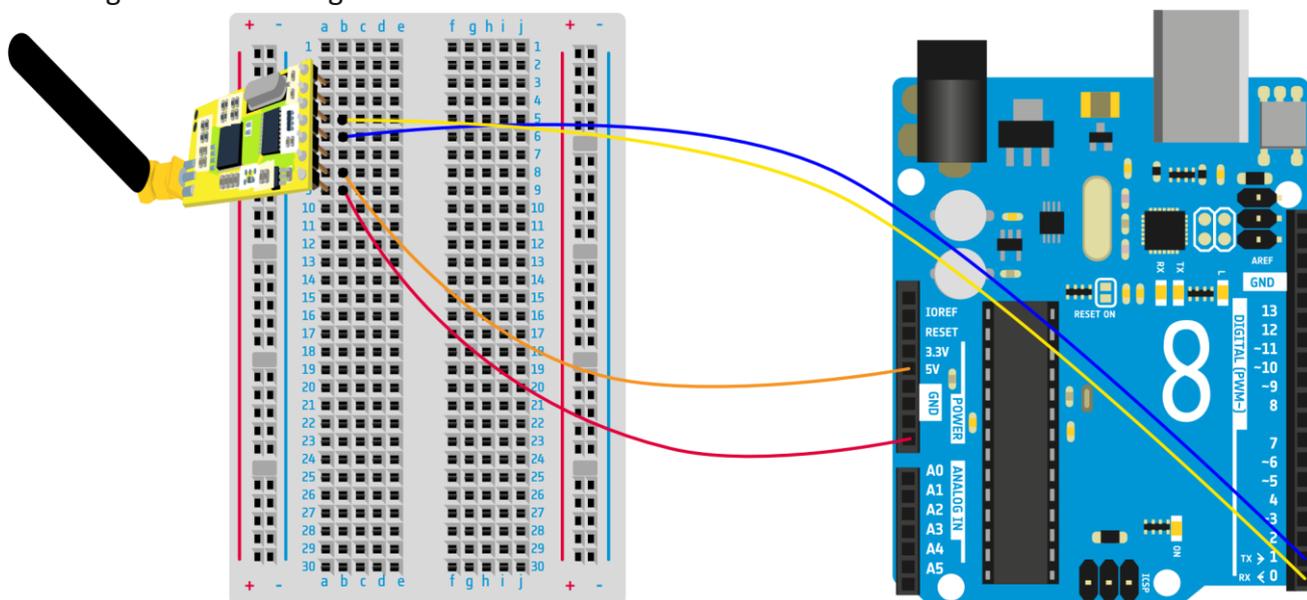
**Hinweis:** Es gibt viele unterschiedliche Softwares, mit denen du den Serial Port auslesen kannst. Verwende einfach diejenige, die dir am besten gefällt!

Zuerst musst du deinen Arduino anschließen, dann musst du den untenstehenden Quelltext an den Arduino schicken.

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);           //Set serial baud rate to 9600
}

void loop()
{
  Serial.println("Hello!");     //print out hello string
  delay(1000);                 //1 second delay
}
```

Jetzt trennst du den Arduino wieder und baust einen Schaltkreis auf, wie in der nachfolgenden Abbildung.



Wenn der Schaltkreis erst einmal aufgebaut ist, kannst du ihn an die externe Stromquelle anschließen (den Schaltkreis an den Laptop anzuschließen, mit dem du deine Daten empfangen wirst, funktioniert nicht, weil dies zu Interferenzen führen würde).

Schließe zuletzt den anderen APC220 über den USB-TTL-Konverter an und öffne die Serial Port Utility.

Herzlichen Glückwunsch! Jetzt solltest du die Mitteilung 'Hello!' sehen können. Sollte dem nicht so sein, überprüfe, ob du den richtigen COM Port ausliest und ob die Arduino IDE geschlossen ist.

Du kannst dieses System erweitern, indem du Messungen in deinen Quelltext miteinbeziehst und Zeitstempel hinzufügst, damit die originalen Daten verifiziert werden können.

## Übung

Testen wir nun die Fähigkeiten unserer Sender und Empfänger! Sobald du zuversichtlich bist, dass du mithilfe der obenstehenden Anleitung Daten übertragen kannst, Sorge für einen größeren Abstand zwischen Sender und Empfänger. Dabei reicht es, wenn dein Partner sich einfach ein paar Schritte mit dem Sender entfernt.

1. Wie weit kann sich dein Partner entfernen, bevor du aufhörst Signale zu empfangen?

---

2. Was könntest du verändern, um den Empfang zu verbessern?

Beziehe alle Informationen mit ein, die dir im Laufe dieses Projektes zuteilgeworden sind!

---

---

---

---

3. Baue nun eine Yagi Antenne und wiederhole die Tests. Verwende nach Möglichkeit die drei Radiomodule aus Aufgabe 2. Was ist der hauptsächlichste Unterschied zwischen der Yagi Antenne und dem Viertelwellenstrahler?

---

---

---

