

Thema: Wellenarten & Ionosphäre – Raumwelle, Bodenwelle, Direktwelle

Ausführliche Zusammenfassung

Funkwellen breiten sich nicht auf eine einzige Art aus – ihre Ausbreitung hängt stark von der **Frequenz**, der **Sendeleistung**, den **Eigenschaften der Atmosphäre** und der **Oberfläche der Erde** ab. Der Professor erklärte, dass insbesondere bei klassischen Rundfunksystemen (Lang-, Mittel-, Kurzwelle) die Ausbreitungsart entscheidend für die Reichweite ist.

Er unterschied dabei mehrere **Haupttypen elektromagnetischer Wellen**, die sich auf verschiedene Weise vom Sender zum Empfänger bewegen:

1. Bodenwelle (Ground Wave)

- Sie folgt der Erdoberfläche, also der „Bodenkrümmung“.
- Besonders ausgeprägt bei niedrigen Frequenzen (Lang- und Mittelwelle, $< 3 \text{ MHz}$).
- Die Welle „haftet“ quasi an der Erdoberfläche, wird dabei aber zunehmend gedämpft.
- Dämpfung hängt stark von der **Bodenleitfähigkeit** ab (Meerwasser leitet sehr gut → große Reichweite; trockener Sandboden → hohe Verluste).
- Anwendung: AM-Rundfunk, maritime Kommunikation, Navigationssysteme auf Langwelle.

Beispiel aus dem Unterricht: Der Professor erwähnte, dass man früher mit Mittelwellenrundfunk problemlos Hunderte Kilometer weit senden konnte, **weil sich die Bodenwelle an der Erdkrümmung entlang ausbreitet**, während heutige UKW-Sender (VHF) das nicht mehr schaffen.

2. Raumwelle (Sky Wave)

- Entsteht, wenn das Funksignal die **Ionosphäre** erreicht, dort reflektiert oder gebrochen wird und zurück zur Erde fällt.
- Dadurch sind sehr große Distanzen möglich (oft mehrere Tausend Kilometer).
- Typisch für Frequenzen im **Kurzwellenbereich (3–30 MHz)**.
- Die Reichweite hängt stark von der **Ionisierungsschicht** ab, die wiederum durch Sonnenstrahlung und Tageszeit beeinflusst wird.
- Nachts reflektiert die Ionosphäre stärker (bessere Reichweiten), tagsüber oft schwächer.

Atmosphärische Schichten laut Professor:

1. **Troposphäre** – bis ca. 10–15 km: Wetter, Wolken, kaum Funkreflexion.

2. **Stratosphäre** – bis 50 km: kaum relevant für Funk.
3. **Mesosphäre** – bis 85 km: Übergangszone.
4. **Ionosphäre** – 85–600 km: enthält elektrisch geladene Teilchen (Ionen), reflektiert Funkwellen bestimmter Frequenzen.

Die Ionosphäre wird in D-, E- und F-Schichten unterteilt:

- **D-Schicht**: absorbiert stark (tagsüber).
- **E-Schicht**: kann reflektieren, aber schwach.
- **F-Schicht (F1/F2)**: Hauptreflexion für Kurzwellen (nachts besonders aktiv).

Der Professor erklärte:

„Ob eine Raumwelle entsteht, hängt nicht einfach von der Frequenz ab, sondern von der Kombination aus Leistung und Ionisationszustand. Mit genügend Leistung kann man fast jede Schicht erreichen – aber das ist energetisch ineffizient.“

3. Direktwelle (Line of Sight, LOS)

- Bewegt sich direkt vom Sender zum Empfänger – wie ein Lichtstrahl.
- Nur bei „Sichtverbindung“ möglich.
- Typisch für **UKW, WLAN, Mikrowellen, Satellitenkommunikation**.
- Reichweite begrenzt durch Erdkrümmung (etwa 40 km bei hohen Antennenmasten).
- Gebäude, Bäume, Berge → Abschattung.
- Bei höheren Frequenzen (z. B. 2,4 GHz WLAN oder 5G im Millimeterbereich) wird selbst Regen relevant.

Der Professor verglich das so:

„UKW ist quasi wie Licht – was Sie nicht sehen, erreicht Sie nicht.“

4. Faktoren, die die Ausbreitung beeinflussen

Faktor	Wirkung
Frequenz	Niedrige Frequenzen → Bodenwellen; hohe Frequenzen → Direktwellen
Tageszeit	Ionosphäre reflektiert nachts besser
Sonnenaktivität	Erhöhte Ionisation → bessere Reflexion
Gelände & Oberfläche	Wasser → bessere Bodenwelle; Beton → mehr Reflexion
Wetter	Regen/Nebel → Dämpfung bei Mikrowellen
Sendeleistung	Erhöht Reichweite, aber nicht immer linear

Zusammenhänge – Beispielrechnungen

Fresnel-Zone Für Direktwellenverbindungen (z. B. WLAN) ist entscheidend, dass die sogenannte *Fresnel-Zone* frei bleibt. Sie beschreibt den Bereich um die direkte Sichtlinie, in dem Reflexionen destruktiv interferieren können. Faustregel:

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

- die erste Fresnel-Zone ($n=1$) sollte zu mindestens 60 % frei von Hindernissen sein.
-

Beispielhafte Prüfungsfrage (im Stil des Professors)

Frage: „Sie betreiben eine Kurzwellenverbindung mit 7 MHz zwischen Wien und Kairo. Am Tag ist das Signal stark gedämpft, nachts hingegen klar und stabil. Erklären Sie anhand der ionosphärischen Schichten, warum das so ist, und welche Wellenart hier vorliegt.“

Musterantwort

Schritt 1 – Einordnung der Wellenart: 7 MHz liegt im Kurzwellenbereich → typischerweise Ausbreitung als **Raumwelle** über Reflexion an der Ionosphäre.

Schritt 2 – Erklärung des Tages/Nacht-Unterschieds:

- Tagsüber: Sonneneinstrahlung erzeugt die **D-Schicht** (60–90 km), die stark dämpft → Signal wird absorbiert, bevor es die F-Schicht erreicht.
- Nachts: D-Schicht verschwindet, F-Schicht bleibt bestehen → Signal erreicht diese Höhe, wird reflektiert → große Reichweiten möglich.

Schritt 3 – Fazit:

- Am Tag → starke Dämpfung durch D-Schicht, kaum Reflexion → schlechter Empfang.
- In der Nacht → D-Schicht weg, Reflexion an F2-Schicht → stabile Raumwelle.

Schritt 4 – Zusatzfaktor: Die Frequenz (7 MHz) liegt knapp unterhalb der maximalen nutzbaren Frequenz (MUF) für diese Reflexion; wäre sie höher, würde sie nicht mehr zurückreflektiert, sondern ins All entweichen.

Lernnotizen & Merksätze

Merksätze:

- „Langwelle folgt dem Boden, Kurzwelle springt vom Himmel, UKW sieht nur was im Blick ist.“
- „Ionosphäre reflektiert nachts, absorbiert tagsüber.“
- „Regen stört Mikrowelle, Sonne stört Kurzwelle.“
- „Fresnel-Zone frei halten – sonst Schatten in der Funkverbindung.“

Übungsaufgabe: Ein Funkamateur betreibt eine 3,5 MHz-Verbindung (80 m-Band) zwischen Innsbruck und Berlin. Nachts funktioniert sie gut, am Tag fast gar nicht. → Welche Schicht der Atmosphäre ist verantwortlich und warum?

Antwort: Die D-Schicht absorbiert tagsüber die niedrigen Frequenzen vollständig; nachts verschwindet sie, und die Wellen können an der F-Schicht reflektiert werden.