



Alzen Mostafa, Khalifa Kais, Tomandl Tomas

24. Januar 2025

Themenübersicht

- Aktuelle Internetinfrastruktur
- Satellitennetzwerke
- Starlinknetzwerk
- Funktionsweise und Installation von Starlink-Terminals
- Phased-Array-Technologie
- Wellensteuerung, 64QAM
- Herausforderungen
- Zukunftsaussichten

Herausforderungen der bisherigen Internetinfrastruktur

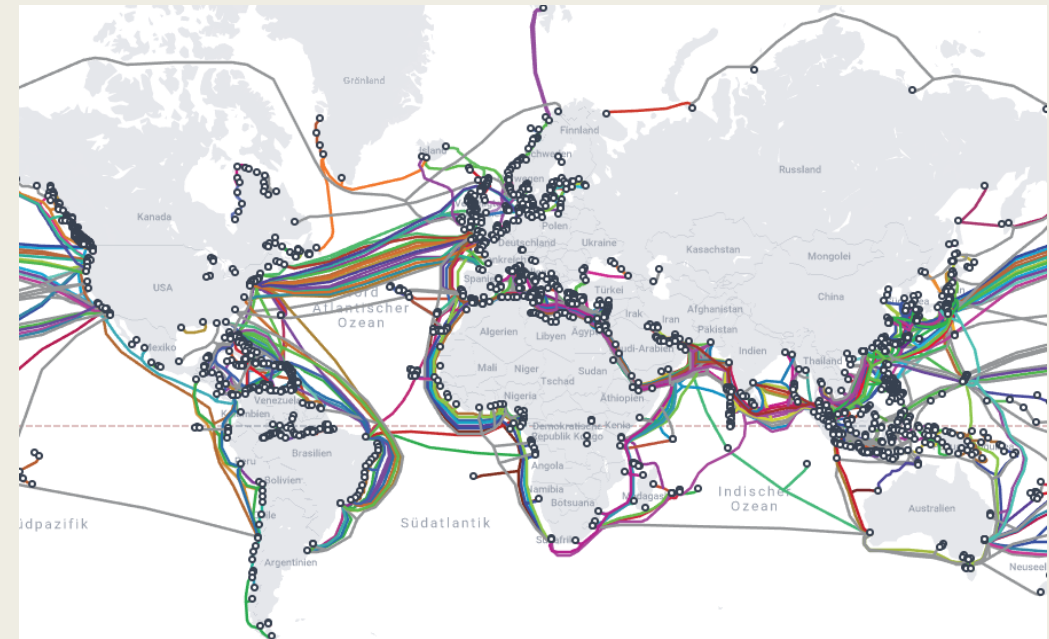
■ Bisherige Werkzeuge:

- **Kabel:** Unterseekabel und Glasfaserverbindungen – teuer und anfällig
- **Funkmasten:** Begrenzte Reichweite, vor allem in abgelegenen Regionen
- **Server:** Konzentration in Ballungszentren, lange Datenwege, hohe Latenz

- **Satelliten:** Hohe Umlaufbahnen, langsame Verbindung, geringe Netzkapazität

■ Probleme:

- **Kostenintensiv:** Teure Installation und Wartung
- **Komplexität:** Aufbau und Reparatur aufwändig (z. B. Unterseekabel)
- **Anfälligkeit:** Schäden durch Naturkatastrophen, Unfälle oder Vandalismus



Karte der weltweiten Unterseekabel von submarinecablemap.com

Starlink – Eine neue Ära der Internetkonnektivität

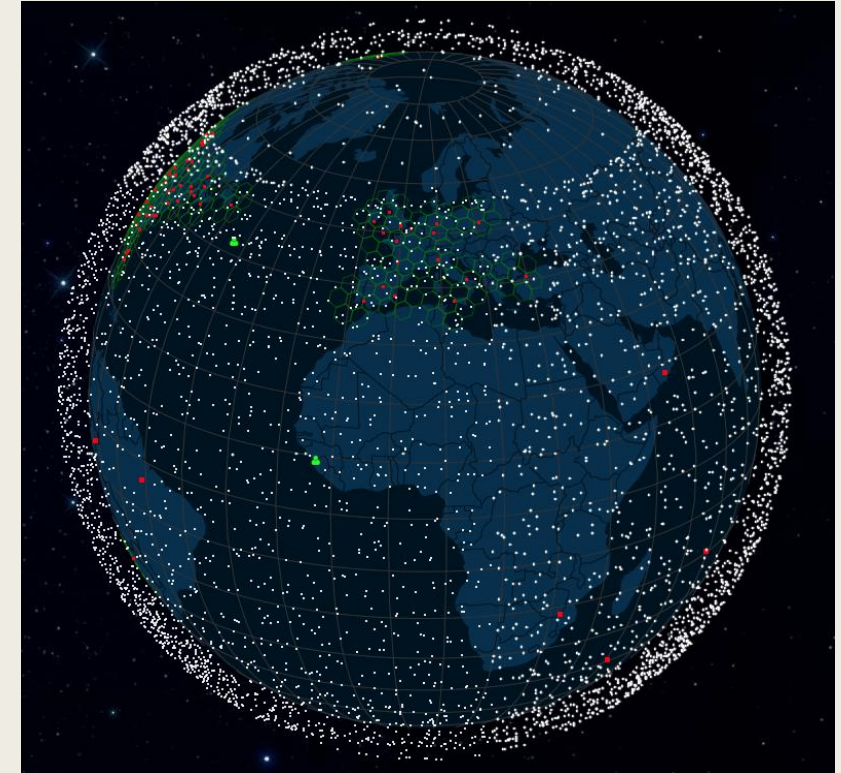
■ Die Rolle von Starlink:

- **Globale Abdeckung:** Zugang auch in entlegensten Regionen.
- **Kosteneffizienz:** Reduzierter Bedarf an physischen Infrastrukturen
- **Niedrige Latenz:** Dank Satelliten für Echtzeit-Anwendungen

■ Warum eine Revolution?

- **Bildung und Gesundheit:** Verbesserter Zugang in Entwicklungsländern
- **Technologie:** Unterstützung moderner Anwendungen wie IoT (Internet of Things) und autonomer Systeme
- **Weltweite Konnektivität:** Schließt die digitale Kluft.

- Bis zu **6.912 Satelliten** in der Starlink-Konstellation, davon sind derzeit **über 6.874** aktiv (Stand: Januar 2025)



Live-Karte der Starlink-Satelliten von satellitemap.space

Satellitennetzwerke im Low Earth Orbit (LEO)

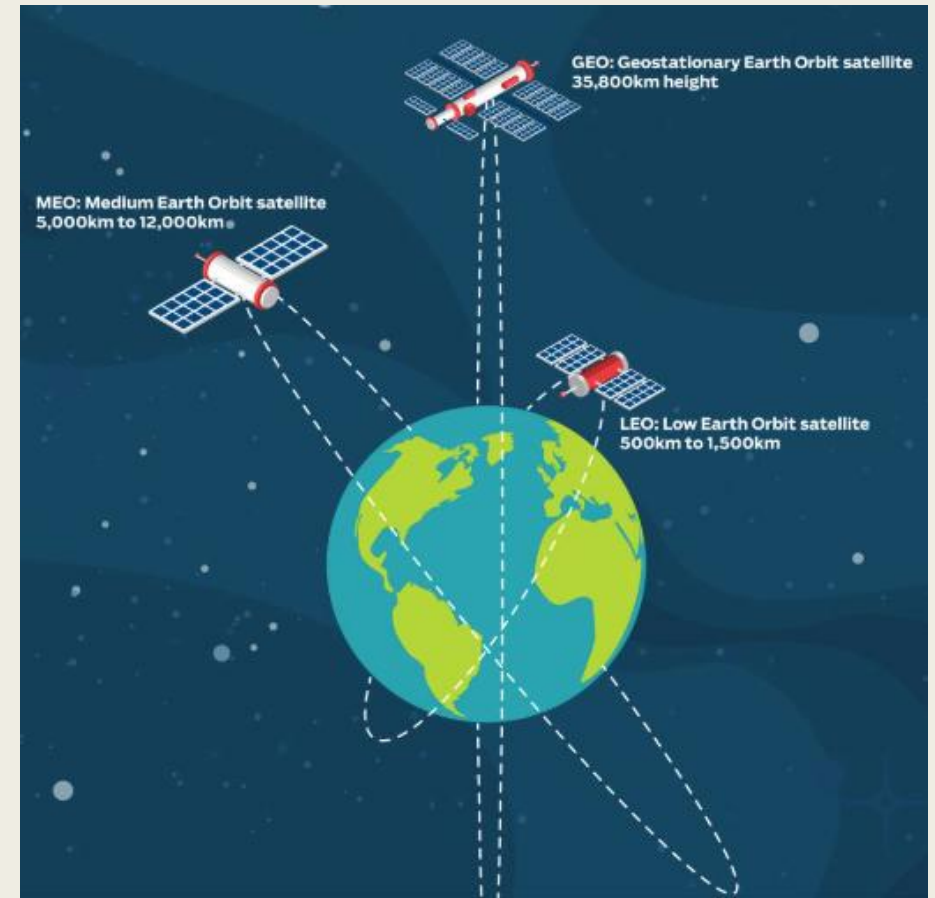
- **Umlaufbahn:**
 - 550–570 km – Deutlich niedriger als geostationäre Satelliten
- **Geschwindigkeit eines Satelliten:** ~7,5 km/s
- **Vorteile von LEO:**
 - **Niedrigere Latenz:** Kürzere Distanz zwischen Satelliten und Erde ermöglicht schnellere Datenübertragung.
 - **Schnelle Reaktionszeit:** Ideal für Echtzeit-Anwendungen wie VoIP und Online-Gaming
 - **Höhere Netzkapazität:** Mehr Satelliten in niedrigerer Umlaufbahn ermöglichen engere Abdeckung und höhere Bandbreite.



Visualisierung eines Starlink-Satelliten von
space.com

Vergleich: LEO vs. GEO-Satelliten

- **GEO-Satelliten (Geostationary Orbit):**
 - Umlaufbahn: 36.000 km über der Erde
 - Latenz: Ca. 600 ms aufgrund der großen Entfernung
 - Nachteile:
 - Hohe Latenz und Verzögerungen bei der Datenübertragung
 - Eingeschränkte Bandbreite durch lange Kommunikationswege
- **LEO-Satelliten (Low Earth Orbit):**
 - Umlaufbahn: 550–570 km
 - Latenz: Ca. 20–40 ms – deutlich kürzer
 - Vorteile:
 - Niedrigere Latenz und schnellere Verbindungen
 - Bessere Abdeckung und höhere Kapazität durch viele Satelliten

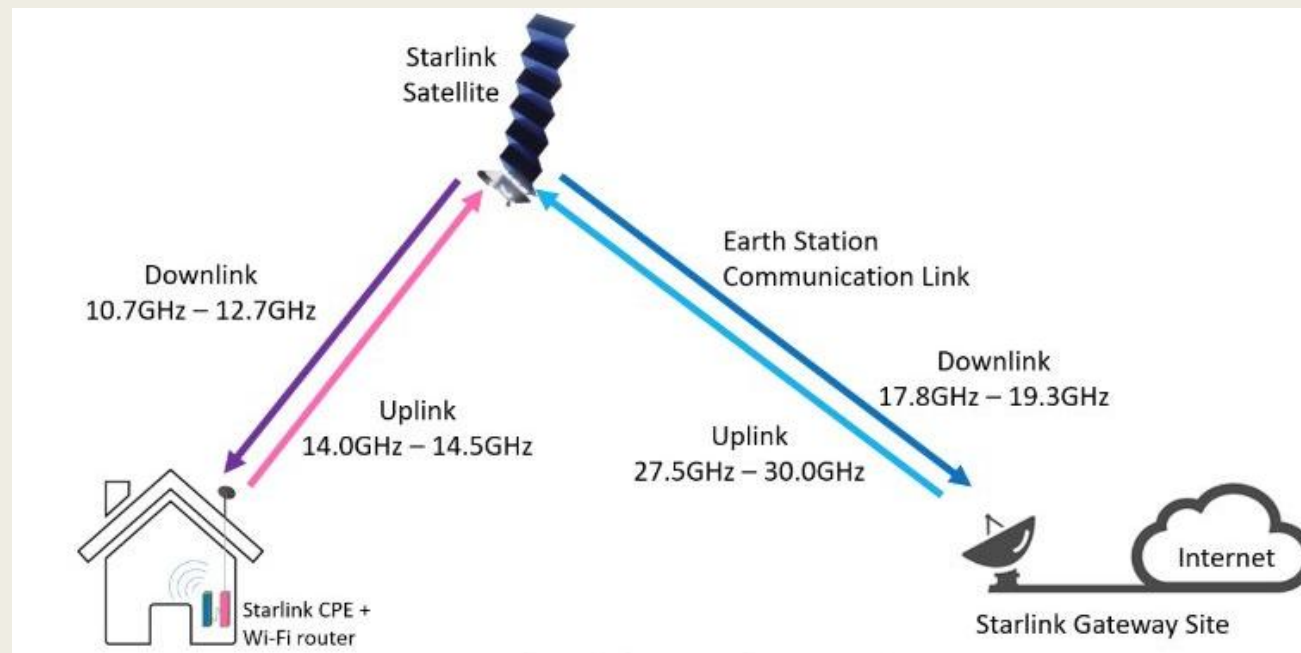


LEO vs. MEO und GEO von
littbusinessconsulting.com

Datenübertragung und Kommunikation im Starlink-Netzwerk

■ Datenübertragungsprozess:

- **Vom Nutzer zum Satelliten:** Nutzer → Nutzerterminal → Satellit → Bodenstation → Internet und zurück
- **Inter-Satellite Links (ISLs):** Satelliten kommunizieren direkt miteinander und umgehen so die Bodenstationen.



Leistung und Effizienz der Starlink-Datenübertragung

- **Internetgeschwindigkeit** (variiert je nach Standort):
 - Download: 25 – 220 Mbit/s
 - Upload: 5 – 20 Mbit/s
 - Latenz: 20 - 40 ms
- **Effizienz der Kommunikation:**
 - **Laserlinks:** Schnelle Datenübertragung zwischen Satelliten, mit einer sehr hohen Datenrate
 - **Echtzeit-Routenberechnung:** Berechnung der effizientesten Route für die Datenübertragung, was zu schnelleren Verbindungen führt.
 - **Lichtgeschwindigkeit:** Datenübertragung innerhalb der Satellitenkonstellation erfolgt fast mit Lichtgeschwindigkeit. – **50% schneller als Glasfaser**

Installation des Starlink-Nutzerterminals

■ Komponenten im Paket:

- Starlink-Antenne ("Dishy"), Router, Netzteil, Kabel, QR-Code für die App

■ Schritte zur Installation:

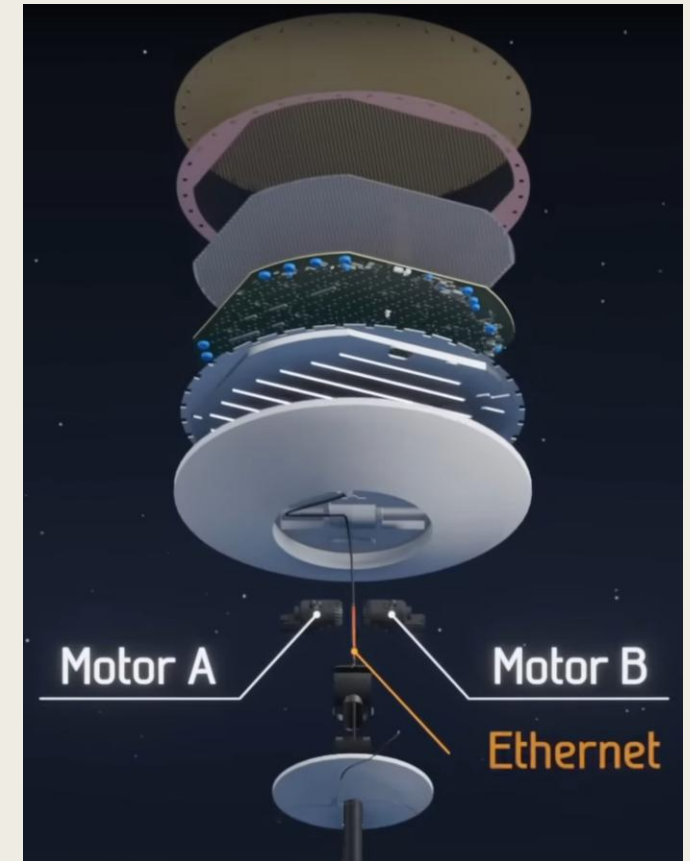
- **Antenne platzieren:**
 - Freie Sicht auf den Himmel sicherstellen (z. B. Dach, Balkon)
 - App verwenden, um die optimale Ausrichtung der Antenne zu finden
- **Kabel verbinden:** Dishy mit Router und Stromquelle verbinden
- **App-Einrichtung & Abonnement aktivieren**



Bild von theidahoreport.com

Teile im Dishy McFlatface

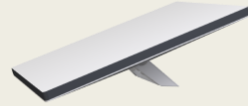
- Motoren (falls vorhanden)
- Stahlplatte als Schutz
- Leiterplatte
 - Vorderseite: Hunderte kleine und wenige Zehn große Microchips, CPU, GPS-Modul
 - Hinterseite: wenige Tausend Lötunkte als Wabenstruktur, jede Wabe ist ein Antennenelement
- Schutz für die Lötunkte
- Vorderseite



Aufbau des Dishy von Branch Education

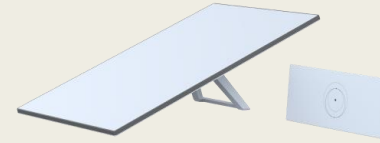
Antennenmodelle

MINI



- 30x26x4cm, 1.1kg
- IP67 Typ 4
- 802.11 a/b/g/n/ac, WLAN 5, Dualband 3x3 MU-MIMO
- WPA2
- Router integriert

STANDARD



- Router nicht integriert,
- Externer Router Starlink GEN3 unterstützt WLAN6 und 802.11ax, Triband 4x4 MU-MIMO

STANDARD MIT MOTOR



- Nur IP54
- Motorisierte Selbstausrichtung

HIGH PERFORMANCE



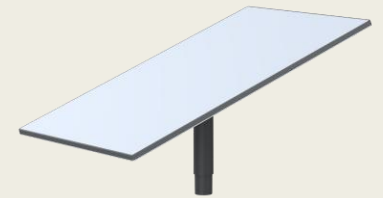
- Besseres Sichtfeld der Antenne (140° statt 110°)
- Verbindung zu mehreren Satelliten möglich

FLAT HIGH PERFORMANCE



- 57x51x4cm
- Übertragbar, GPS-gebunden
- Viel widerstandsfähiger (Wind bis zu 280+ km/h)

ENTERPRISE



- Manuelle Ausrichtung, standortgebunden
- Router von Drittanbietern können direkt angeschlossen werden

Aufbau der Leiterplatte

- Abhängig vom Modell besteht sie aus mindestens 1.000 bis 2.000 kleiner Antennenelemente.
- Diese Elemente arbeiten koordiniert, um ein starkes Signal zu erzeugen und zu fokussieren.
- Um jedes der Antennenelemente präzise zu steuern, werden viele leistungsstarke Mikrochips benötigt, die die Koordination der Signale ermöglichen.
- Ermöglicht eine schnelle Anpassung an Satellitenpositionen, auch während diese sich bewegen.
- Die Software übernimmt die Steuerung der Signalausrichtung, sodass keine mechanische Bewegung erforderlich ist.

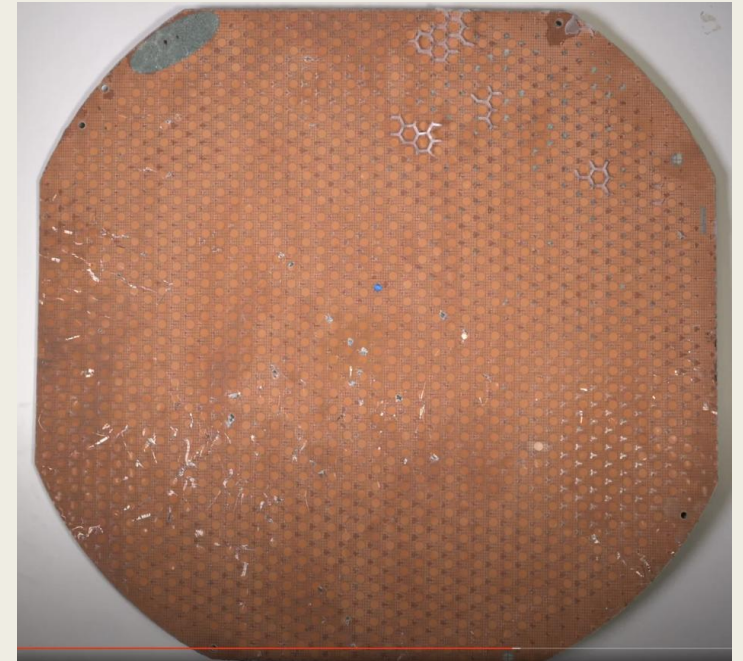
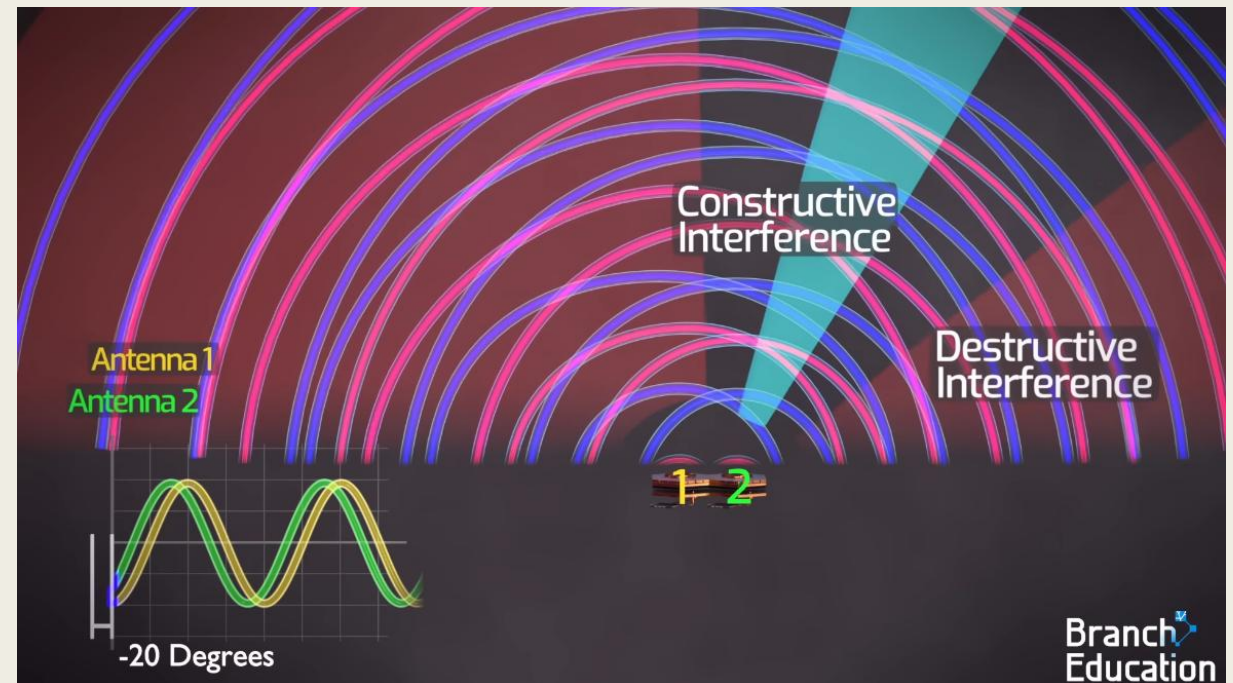


Bild von reddit.com

Phased-Array-Technologie

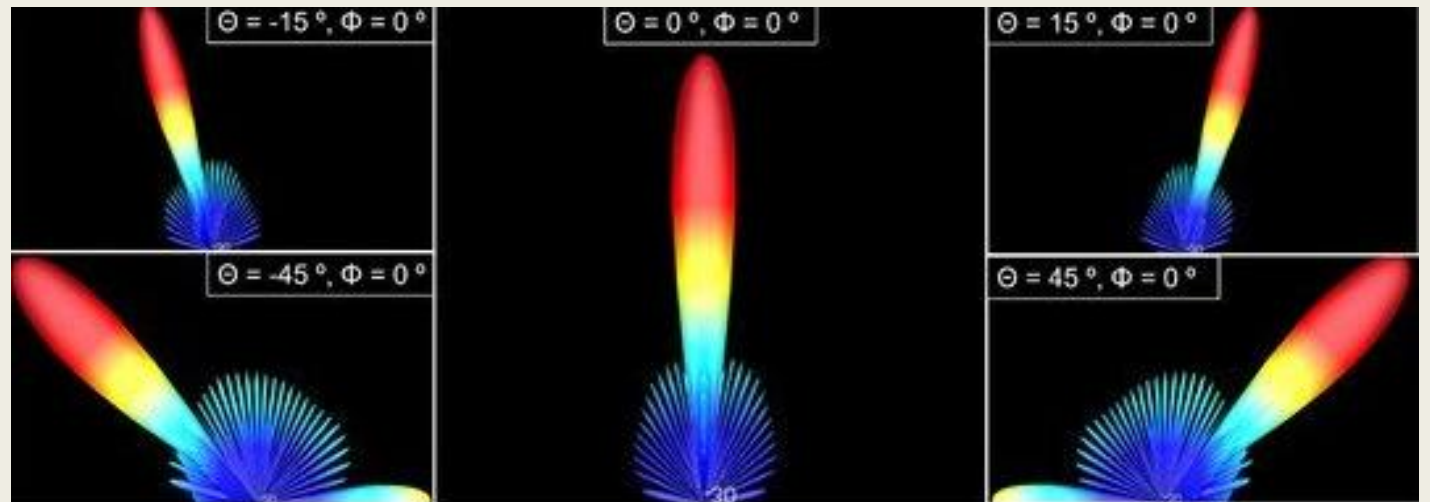
- Jedes Antennenelement sendet ein Signal mit einer präzise gesteuerten Phase.
- Durch gezielte Phasenverschiebungen entsteht ein gerichteter Signalstrahl.
- Dies geschieht durch Überlagerung der Signale:
 - **Konstruktive Interferenz:** Die Wellen verstärken sich in einer bestimmten Richtung, wodurch ein fokussierter Strahl entsteht.
 - **Destruktive Interferenz:** In anderen Richtungen löschen sich die Wellen gegenseitig aus, wodurch der Strahl "geschärft" wird.



Darstellung der Phased-Array-Technologie von
Branch Education

Visualisierung der Wellensteuerung

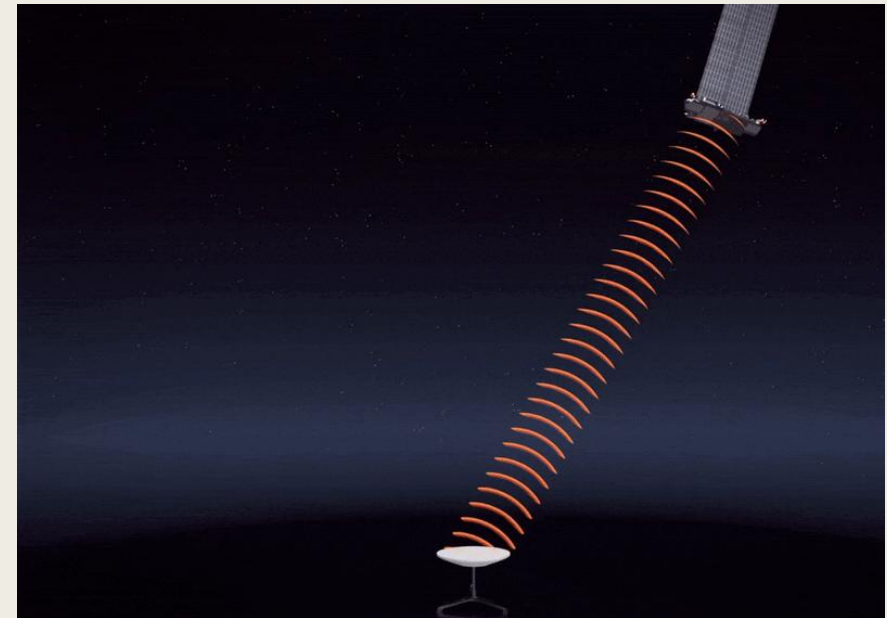
- Die Antennenelemente arbeiten zusammen, um eine gerichtete Welle zu erzeugen.
- Durch die Steuerung der Phasen verschieben sich die Interferenzmuster dynamisch.
- Beispiel eines Strahlfokus:
 - In der Grafik sieht man die gerichteten Strahlen, die durch die koordinierte Steuerung der Phasen entstehen.
- Die Strahlen können schnell angepasst werden, um Satelliten zu verfolgen, die sich am Himmel bewegen.



Visualisierung von Institute for Applied Microelectronics,
University of Las Palmas de Gran Canaria

Vorteile der Phased-Array-Technologie

- Extrem schnelle Anpassung der Strahlrichtung ohne mechanische Bewegung.
- Reduziert die Signalverluste durch präzise Ausrichtung
- Herausforderung:
 - Die Steuerung der Phasenschaltung erfordert leistungsstarke Prozessoren und präzise Softwarealgorithmen
- Robustheit gegenüber äußeren Einflüssen
- Praktische Anwendungen:
 - Parallele Verbindung zwischen Dishy und mehreren Satelliten

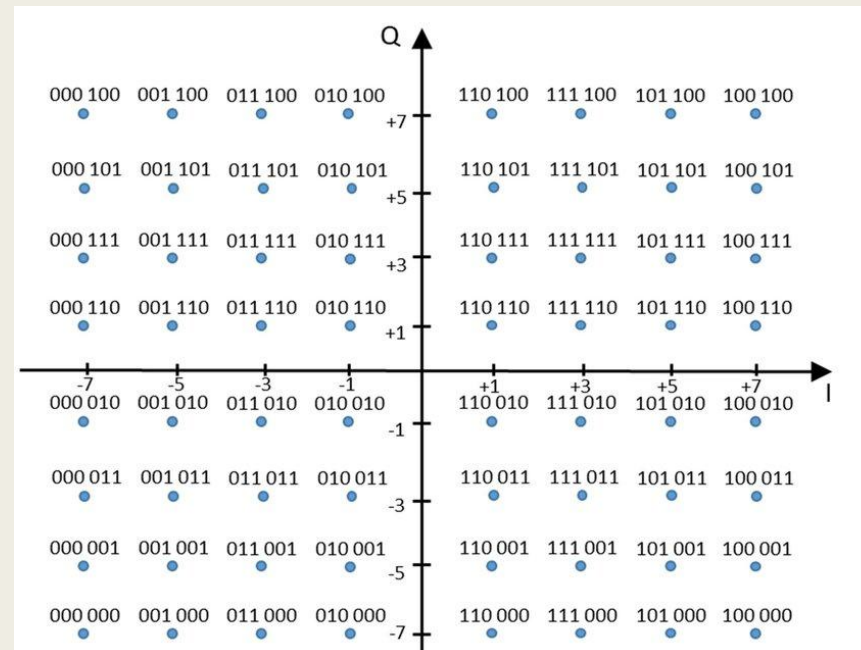


Darstellung der Signalübertragung von
Branch Education

64-Quadratamplitudenmodulation

■ Starlink – speziell:

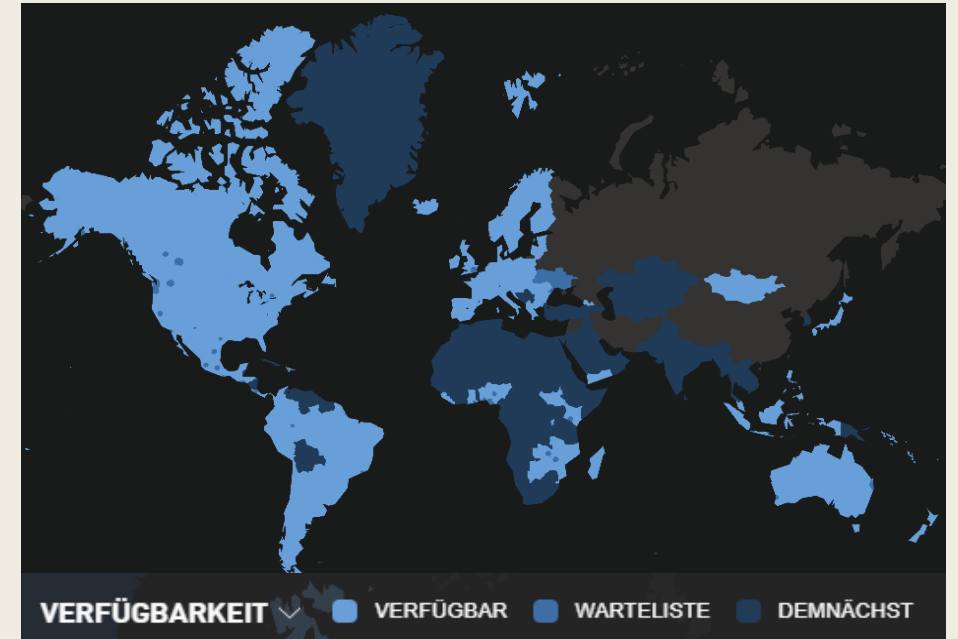
- $f = 12\text{GHz}$ (83 ps)
- jedes Symbol bleibt 10 ns => 90 Mil. Symbols/s => 540 Mbits/s
Datenübertragungsvolumen für Upload und Download
- Dishy workflow jede Sekunde: 926ms download from satellite, 74ms upload



Skizze der 64-QAM von everythingrf.com

Zukunftsziele von Starlink

- **Globale Internetabdeckung:**
 - 42.000 Satelliten geplant
 - Vollständige Abdeckung für abgelegene Gebiete
- **Kleinere Satelliten:**
 - Reduzierung des Weltraumschrotts durch kompaktere und effizientere Designs
- **Unabhängigeres Netzwerk:**
 - Minimierung der Abhängigkeit von Unterseekabeln durch Inter-Satellite Links
 - Weniger Störungen: Stabileres Internet auch bei Kabelunterbrechungen oder anderen infrastrukturellen Problemen



Verfügbarkeitskarte für den Starlink-Service von starlink.com

Weltraumschrott – Risiko und Lösungen

■ Gefahren:

- Etwa 6300 Tonnen Weltraummüll, davon 73 % im erdnahen Orbit (LEO)
- Starlink-Satelliten tragen zur Zunahme des Weltraummülls bei und stellen eine Herausforderung für die Raumfahrt dar
- Kollisionen mit Weltraummüll und anderen Satelliten sind ein ernstes Risiko

■ Starlink-Strategien zur Müllvermeidung:

- **Automatisierte Kollisionsvermeidung:**
 - Starlink-Satelliten können autonom aus dem Weg gehen, um Kollisionen zu verhindern
- **End-of-Life-Plan:**
 - Satelliten werden nach ihrem Einsatz gezielt deorbitiert und gelangen kontrolliert in die Atmosphäre, ohne Rückstände zu hinterlassen

Lichtverschmutzung – Einfluss und Gegenmaßnahmen

■ Probleme:

- Helle Satelliten tragen zur Lichtverschmutzung bei
- Astronomische Beobachtungen: Reflektierende Satelliten stören Teleskope und Forschungsinstrumente

■ SpaceX-Initiativen gegen Lichtverschmutzung:

- Abdunkelungstechnologien:
 - Einsatz von reflektionsmindernden Beschichtungen
 - Ziel: Satelliten für das bloße Auge unsichtbar machen

■ Zusammenarbeit mit Astronomen:

- Zusammenarbeit zwischen Starlink und National Science Foundation (NSF), um die Auswirkungen auf die Astronomie zu reduzieren
- Unterbrechung der Satellitensignale oberhalb wichtiger Observatorien



Starlink-Satellitenspuren über
Brasilien in 2019

Wirtschaftliche und regulatorische Herausforderungen

■ Hohe Betriebskosten:

- Produktion, Start und Wartung der Satelliten kostenintensiv
- Nutzerterminals sind teuer, erschweren den Zugang in Entwicklungsländer

■ Langfristige Tragfähigkeit:

- Starlink muss genügend Abonnenten gewinnen, um nachhaltig zu sein

■ Regulatorische Herausforderungen:

- Unterschiedliche Vorschriften
- Variierende Genehmigungsverfahren weltweit

■ Frequenznutzung:

- Konflikte mit terrestrischen Netzwerken und anderen Satellitensystemen

Referenzen

- <https://www.starlink.com/>
- <http://littbusinessconsulting.com/leo.php>
- <https://www.linkedin.com/pulse/overview-how-starlinks-phased-array-antenna-dishy-works-curtis-arnold>
- https://www.starlink.com/public-files/installation_guide_standard_kit_de-DE.pdf
- <https://www.submarinecablemap.com/>
- <https://www.space.com/spacex-starlink-satellites.html>
- <https://satellitemap.space>
- <https://www.golem.de/news/lichtverschmutzung-fuer-starlink-arbeitet-spacex-mit-astronomen-zusammen-2301-171168.html>
- <https://www.starlink.com/map>
- <https://www.youtube.com/watch?v=qs2QcycggWU>
- <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/23/9406>
- <https://www.submarinecablemap.com/>
- <https://www.everythingrf.com/community/what-is-64-qam-modulation>
- <https://www.connectivity.technology/2021/03/why-starlink-is-already-gamechanger.html>
- <https://www.space.com/how-spacex-got-starlink-running-ukraine>
- <https://theidahoreport.com/starlink-gamechanger-for-rural-property-owners/>
- https://www.reddit.com/r/rfelectronics/comments/k14vl0/first_look_at_starlink_phased_array_antenna_pcb/