



Leistungsfähigkeit des Satellitennetz- werks Starlink – Status 2025

18. SEPTEMBER

Technische Hochschule Mittelhessen

Verfasst von: Prof. Dr.-Ing. Kristof Obermann

Haftungsausschluss

Die in dieser Publikation veröffentlichten Informationen spiegeln die Meinung des Autors wieder und stimmen nicht notwendigerweise mit den Ansichten des Bundesverband Breitbandkommunikation e.V. (BREKO) überein. Es wird keine Gewähr für die Richtigkeit der in diesem Bericht enthaltenen Daten gegeben und keine Verantwortung für ihre etwaige Verwendung übernommen. Die Wiedergabe der hier zur Verfügung gestellten Texte ist zulässig, sofern ein Hinweis auf die Quelle sowie die Unverbindlichkeit erfolgt.

Inhaltsverzeichnis

Executive Summary	3
Ausgangslage und Ziel der vorliegenden Untersuchung	4
Weiterentwicklung Starlink 2021 bis 2025	5
Anzahl der Satelliten und Kapazität pro Satellit	6
Flächendeckung	12
Latenzen	13
Services und Nutzerzahlen	14
Stationäre Internetzugänge.....	14
Nomadische Internetzugänge.....	16
Mobile Internetzugänge	17
Weitere LEO Satellitensysteme	19
Fazit.....	20
Referenzen	23

Executive Summary

Seit der Veröffentlichung der Grundlagenstudie im Auftrag des Bundesverband Breitbandkommunikation e. V. (BREKO) im Jahr 2021 [1] hat sich die Leistungsfähigkeit des Satellitennetzwerks Starlink signifikant erhöht:

- Durch die massive Steigerung der Kapazität der Starlink Satelliten ergibt sich eine signifikant höhere Gesamtkapazität des Starlink-Satellitennetzwerkes als in der Studie [1] abgeschätzt: Im Endausbau unter Annahme von 42.000 Satelliten ergeben sich Gesamtkapazitäten, die weltweit etwa dem 13-fachen und in Deutschland fast dem 10-fachen Wert der Vorgängerstudie aus dem Jahr 2021 entsprechen [1].
- Dies impliziert einem deutlich größeren adressierbaren Marktanteil: Mit dem Satellitennetzwerk Starlink ließen sich im Endausbau bei einer Best-Case Betrachtung rund. 13 Mio. Endkunden mit einer downstream-Datenrate von 100 Mbit/s bzw. 1,3 Mio. Endkunden mit einer downstream Datenrate von 1 Gbit/s versorgen. Diese Abschätzung basiert allerdings auf Angaben von Starlink. Ob diese Kapazitäten tatsächlich realisiert werden können, ist aus heutiger Sicht eher fraglich.
- Es ist davon auszugehen, dass der Installationsaufwand beim Endkunden ein Show-Stopper sein wird und zwar insbesondere dort, wo es Festnetz-Alternativen gibt. Darüber hinaus leben die meisten Deutschen in Mehrfamilienhäusern, wo eine Zustimmung der Eigentümergeinschaft erforderlich ist, wenn eine Empfangsantenne auf dem Dach oder Balkon installiert werden soll. Ein weiteres Problem dürfte der hohe Stromverbrauch aufgrund der mit 50-100 W immer noch sehr hohe Leistungsaufnahme der Empfangsantenne sein. Zum Vergleich: Bei Glasfaseranschlüssen liegt die Leistungsaufnahme des Glasfasermodems (ONT) bei 2,3 bis 3 Watt und mit weiteren Funktionalitäten (insbesondere WLAN) im Mittel bei 9-10 Watt.
- Starlink kann jedoch eine wichtige Rolle bei der Erbringung der Mindestversorgung mit Telekommunikationsdiensten von bislang besonders schlecht versorgten Haushalten, insbesondere Einzellagen, spielen für die aufgrund der sehr hohen Ausbaukosten auch einen Ausbau auf Basis des Gigabitförderprogramms des Bundes nicht mehr angemessen wäre.
- Zur Zeit sind je nach Quellenangabe 6244 bis 6751 Satelliten aktiv. Zur weiteren Entwicklung der Satellitenzahl im Orbit gibt es keine konkreten Angaben. Zwar wurden bei der Federal Communications Commission (FCC) Anträge für rund 12.000 Satelliten genehmigt, die weitere Entwicklung der Satellitenzahl wird aber stark davon abhängen, ob und wann das Starship für den Transport von Satelliten in den Orbit genutzt werden kann. Es ist davon auszugehen, dass Starlink seine Satellitenflotte weiter bedarfsgerecht ausbauen wird, um eine ausreichende Servicequalität sicher zu stellen.
- Gemäß den Ergebnissen der Messungen aus Ref. [2] betragen die realen mittleren Datenraten derzeit zwischen 100 und 200 Mbit/s im downstream und zwischen 10 und 20 Mbit/s im upstream.
- Die derzeit gemessenen mittlere Latenzen liegen im Bereich von 40 ms bis 50 ms. Ziel von Starlink ist es, diese Werte auf max. 20 ms zu reduzieren. Zum Vergleich: Bei Glasfaser PON Systemen liegen die Latenzen im Bereich von 2 bis 10 ms.

- Durch die massive Erweiterung der Satelliten-Flotte sowie die zusätzliche Abdeckung der Pole bietet das Starlink-Satellitennetzwerk mittlerweile eine nahezu globale Abdeckung. Allerdings ist der Dienst in einigen Ländern (z.B. Russland, China) aus politischen Gründen nicht erlaubt.
- Gegenüber der Vorgängerstudie aus 2021 wurden die Kosten für einen Starlink-Internetanschluss deutlich gesenkt, und liegen jetzt in der Größenordnung wie vergleichbare Festnetzangebote (für Privatkunden 29 bis 50 € pro Monat).
- Gemäß Starlink gibt es derzeit weltweit 4,6 Mio. Nutzer und der Umsatz betrug 2022 nur 1,4 Milliarden US-Dollar. Dieser Wert sowie die Nutzerzahlen bleiben weit hinter den ursprünglichen Erwartungen zurück.
- Über den stationären Internetzugang für Privat- und Geschäftskunden hinaus gibt es mittlerweile folgende Dienste:
 - Nomadische Nutzung: speziell für Reisende wurde eine abgespeckte Empfangsantenne Starlink Mini entwickelt, die sich auch z.B. für Wohnmobile, PKWs und Boote eignet. Die monatlichen Kosten belaufen sich auf 49 bis 72 €.
 - Mobile Nutzung mit Standard-Empfangsantennen für Flugzeuge, Züge, Schiffe und größere Landfahrzeuge wie LKW, Busse und Landmaschinen. 2024 wurden so 450 Flugzeuge und rund 75.000 Schiffe mit Starlink-Internet versorgt.
 - Mobile Nutzung mit herkömmlichen Smartphones ohne zusätzliche Empfangsantenne (Direct-to-Cell): Der Dienst ist bereits in den USA und Neuseeland verfügbar und wurde in Kanada, Australien, Neuseeland, Japan, der Schweiz, Chile, Peru, Schweden und der Ukraine getestet. Ziel ist die Übertragung von Textnachrichten, später auch von Sprache und Daten sowie IoT Anwendungen. Die Datenraten liegen im einstelligen Mbit/s-Bereich. Der Dienst ist in Deutschland derzeit noch nicht verfügbar.
- Die wirtschaftliche, politische und insbesondere auch die militärische Bedeutung von LEO Satellitennetzwerken ist mittlerweile vielen klar geworden. Insofern ist es nicht überraschend, dass weitere Akteure derartige Netzwerke realisieren wollen. Alle bereits realisierten und noch geplanten Satelliten-Systeme müssen um die Ressourcen Umlaufbahnen und Funkfrequenzen konkurrieren. Es bleibt daher abzuwarten, ob und in welchem Umfang die geplanten LEO Satellitennetzwerke tatsächlich realisiert werden können.

Ausgangslage und Ziel der vorliegenden Untersuchung

In einer Grundlagenstudie im Auftrag des Bundesverband Breitbandkommunikation e. V. (BREKO) wurde im Jahr 2021 die Performance des Satellitennetzwerkes Starlink untersucht [1]. Insbesondere folgende Punkte sind dabei näher betrachtet worden:

- Maximale, typische und minimale Bitraten im up- und downstream pro Endkunden sowie Gesamtkapazität des Netzwerkes
- Mögliche Gesamtkapazität pro Satellit
- mobile Nutzung

-
- Sicherheit derartiger Netzwerke
 - Verfügbarkeit bzw. Ausfallzeiten
 - Latenz
 - Wetterabhängigkeit
 - Hardware/ Customer Premises Equipment (CPE) und ggf. erforderliche Installationen bei den Endkundenn
 - Verfügbarkeit von entsprechendem Frequenzspektrum
 - Verfügbarkeit von Umlaufbahnen für Satelliten

Im Ergebnis wurde festgestellt, dass das Starlink Netz selbst zum damaligen Zeitpunkt geplanten Endausbaus mit insgesamt 42.000 Satelliten keine Konkurrenztechnologie für Glasfasernetze in Deutschland sein kann.

Fazit der Studie aus dem Jahr 2021 war, dass die Stärke des Starlink-Satellitennetzwerkes weniger in der bereitgestellten Kapazität als vielmehr in der globalen Vernetzung sehr vieler Endgeräte mit moderaten Datenraten aber geringen Latenzen bei hinreichend großen Entfernungen liegt. Die wirtschaftliche, politische und auch militärische Bedeutung derartiger Satelliten-Kommunikationsnetzwerke sollte daher nicht unterschätzt werden.

Insbesondere letzteres hat der Einsatz von Starlink im russischen Angriffskrieg gegen die Ukraine sowie im Gaza-Krieg deutlich gezeigt.

Seit 2021 gab es relevante Weiterentwicklungen bei Starlink. Ziel der vorliegenden Studie ist es, diese zu untersuchen und darzustellen, welche Auswirkungen diese auf die Leistungsfähigkeit und den Anwendungsbereich von Starlink haben.

Weiterentwicklung Starlink 2021 bis 2025

Seit 2021 gab es bei Starlink signifikante Weiterentwicklungen insbesondere in folgenden Bereichen:

- Anzahl der Satelliten und Kapazität eines Satelliten
- Flächendeckung
- Latenzen
- Nutzerzahlen und Services (insbes. nomadische und mobile Nutzung)
- Kosten und Stromverbrauch CPE Antenne

Auf diese Weiterentwicklungen soll im Folgenden näher eingegangen und die Leistungsfähigkeit von Starlink untersucht werden.

Anzahl der Satelliten und Kapazität pro Satellit

	V1	V1.5	V2-KU	V2-DTC	TOTALS
Healthy	860	2706	2693	492	6751
Actively Deorbiting	239	81	9	0	329
Dead as Doornail	0	1	0	0	1
Deorbited	576	189	87	13	865
Total	1675	2977	2789	505	7946

Tabelle 1: Starlink Constellation Health Status (Stand: 24.02.2025, Quelle [3]).

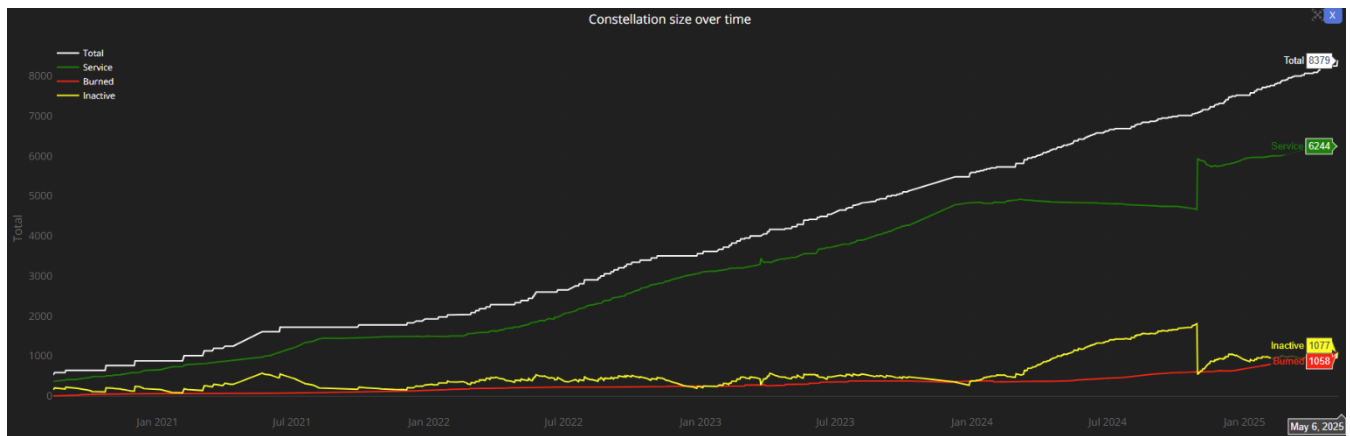


Abbildung 1: Anzahl der aktiven (Service), inaktiven (Inactive) und verglühten (Burned) Starlink Satelliten seit 2021. Quelle: [5]

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die Anzahl der Starlink Satelliten vom 24.02.2025: Während die Zahl der Starlink Satelliten im Orbit am 20.01.2021 noch 1015 betrug [4], ist sie mittlerweile auf 6751 angestiegen. In Ref. [5] werden leicht abweichende Zahlen angegeben: z.B. waren gemäß [5] am 06.05.2025 lediglich 6244 Satelliten aktiv (vgl. Abbildung 1). Dabei kam es laut Starlink bisher nur zu einem einzigen Totalausfall [3]. 329 Satelliten wurden bisher kontrolliert (Actively Deorbiting) und 865 passiv (Deorbiting) aus dem Orbit in die Erdatmosphäre gebracht¹.

Folgende Satellitentypen werden derzeit eingesetzt:

- **1. Generation V1.0 und V1.5 ab 2019 (V1.0) bzw. ab 2021 (V1.5)**
 - 860 V1 und 2706 V1.5 Satelliten derzeit aktiv
 - Gewicht: 227 kg (V1.0), ca. 260-300 kg (V1.5)

¹ Beim aktiven Deorbiting behält der Satellit bis zum Schluss seine Manövrierfähigkeit, so dass Kollisionen vermieden werden können und er über unbewohnten Gebieten (z.B. Ozeanen) verglüht. Beim passiven Deorbiting wird der Satellit nach Ende seiner Lebensdauer abgeschaltet und verliert seine Fähigkeit zur Steuerung. Er bleibt im Orbit, bis der Luftwiderstand seine Bahn langsam absinken lässt, so dass er irgendwann in die Atmosphäre eintritt und verglüht. Dieser Prozess kann je nach Höhe und Satellit Jahre dauern. Beim passiven Deorbiting ergibt sich ein deutlich höheres Risiko für Weltraummüll [6].

- Kapazität:
 - V1.0: ca. 18 Gbit/s im downstream pro Satellit [1,7]²
 - v1.5: ca. 10 Gbit/s [8] bis 24 Gbit/s [9] im downstream pro Satellit.
- Anmerkung zur Kapazität eines Satelliten:
 - Die erzielbare Gesamtbitrate wird bei gegebenem Abstand in erster Linie von der Kanalbandbreite, dem EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power) des Senders sowie dem Gewinn der Empfangsantenne bestimmt [1]. Das EIRP bezeichnet seinerseits das Produkt aus der Sendeleistung und dem Gewinn der Sendeantenne [1].
 - Gemäß Angaben der Bundesnetzagentur wird derzeit in Deutschland ein 250 MHz Kanal im Ku-Band ohne Polarisationsmultiplex verwendet. Mit den in Ref. [1] angenommenen Werten ist für eine downstream Bitrate von ca. 20 Gbit/s ein EIRP von etwa 45 dBW erforderlich. Diesen Wert erhält man z.B. für eine Sendeantenne mit einer Sendeleistung von 10 W und einem Durchmesser von 60 cm, was realistische Werte sind.
- Kommunikation im Ku- (Downlink 10,7–12,7 GHz, Uplink 14,0–14,5 GHz) und Ka-Band (Downlink 17,8–20,2 GHz, Uplink 27,5–30,0 GHz)
- Laserlink-Verbindungen (4 Laserlinks 10 Gbit/s) ab V1.5
- Netzstruktur: Erste Ausbaustufe mit 1584 Satelliten auf 72 Bahnebenen bei 550 km
- **2. Generation V2.0 Mini (V2-KU und V2-DTC) ab Anfang 2023**
 - 2693 V2-Ku und 492-DTC (Direct-to-Cell, s.u.) Satelliten derzeit aktiv. Die Anzahl der DTC Satelliten soll 2025 auf 700 gesteigert werden [9]. Genaue Angaben zu der Anzahl der künftig geplanten V2.0 Satelliten sind schwer zu finden. Einige Quellen geben die Gesamtzahl der V1.0, V1.5 und V2.0 zu 12.000 Satelliten an. D.h. es wären weitere 8434 V2.0 Satelliten geplant [10,11].
 - Gewicht: 575 kg [9]
 - Kapazität: ca. 96 Gbit/s im downstream [9] und 6,7 Gbit/s im upstream pro Satellit [9,12].

Anmerkung zur angegebenen Kapazität: downstream Bitraten im Bereich von 90 Gbit/s mit 8 Spot Beams wären z.B. realisierbar durch:

- Die Verwendung von Polarisationsmultiplex (führt zu einer Verdopplung der Bitrate)
- Der Verwendung eines weiteren 250 MHz Frequenzbandes (z.B. im Ka-Band) und

² Anmerkung: Eine spätere Studie vom Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen (ISS) aus 2021 hat die maximale Kapazität eines Starlink-Satelliten mit 7 Spot Beams zu 8,7/4,3 Gbit/s (downstream/upstream) angegeben [13]. In der Studie für den BREKO [1] wurde die Kapazität eines Starlink-Satelliten mit 8 Spot Beams zu 14/5,5 Gbit/s bzw. mit 7 Spot Beams zu 12/5,5 Gbit/s abgeschätzt. Im Rahmen einer Best-Case Betrachtung wurde für die Kapazitätsberechnung in [1] sogar ein Wert von 17 bis 23 Gbit/s im downstream angenommen. Die Unterschiede zwischen den Studien [1] und [13] sind im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass es bei der BREKO Studie [1] ein Best-Case Betrachtung vorgenommen wurde. Die Bitrate im upstream beträgt etwa 40 % [1] bis 50 % [13] der downstream Bitraten.

- Einer Erhöhung des EIRPs auf etwa 52 dBW, welches sich durch eine Erhöhung der Sendeleistung auf 50 W mit einer 0,6 m Sendeantenne ergibt.
- Kommunikation im Ku-, Ka- und E-Band (V2-KU, E-Band: Downlink 71,0–76,0 GHz, Uplink 81,0–86,0 GHz) sowie LTE Mobilfunk (V2-DTC [Direct To Cell]). Erste V2-DTC Prototypen gab es ab 2024. Bei den Tests wurde LTE Spektrum von T-Mobile USA verwendet. V2-DTC Satelliten verwenden eNodeB Modems und können daher als Mobilfunk-Basisstationen im Weltraum angesehen werden [9].
- Verbesserte Laserlink-Verbindungen [12]

Weitere Planung bzgl. Typ und Anzahl der Satelliten:

- **3. Generation V3.0:**

Die V3.0 Satelliten sind für das Starship optimiert, wobei jeweils 60 V3.0 Satelliten mit einem Starship in den Orbit gebracht werden sollen [9]. Die V3.0 Satelliten haben deutlich größere Antennen als die V1.x und V2.0 Satelliten und sind für niedrigere Umlaufbahnen optimiert.

- SpaceX hat bei der US Behörde FCC Anträge für eine Erweiterung um rund 30.000 (29.988) V3.0 Satelliten gestellt [14].
- Start ab 2025. Bis 2026 sollen alle V3.0 Satelliten in Betrieb sein [15].
- Gewicht: ca. 1250 kg [16]
- Kapazität: 1000 Gbit/s im downstream und 160 Gbit/s im upstream [9,12].

Anmerkung zur angegebenen Kapazität: downstream Bitraten im Bereich von 1000 Gbit/s mit 8 Spot Beams wären z.B. realisierbar durch:

- Die Verwendung von Polarisationsmultiplex.
- Einer Verringerung der Flughöhe auf 350 km.
- Einer massiven Erhöhung der Bandbreite auf insgesamt 3000 MHz entsprechend 12x250 MHz Kanälen im Ku-, Ka-, E- sowie W-Band. Ob eine solch hohe Bandbreite alleine für Starlink Satelliten bereitgestellt werden kann ist derzeit nicht absehbar.
- Eine Anfrage bei der Bundesnetzagentur (BNetzA) ergab Folgendes:
„Der Bundesnetzagentur liegen keine Informationen zur geplanten weiteren Entwicklung des Satellitennetzwerks Starlink vor. Bekannt ist, dass beabsichtigt wird künftig Frequenzen im Ka-, E- und W-Band zu nutzen.“
- Starlink Deutschland GmbH hat zwar ein Büro in Deutschland³, hat aber weder eine Webseite noch eine email-Adresse. Direkte Anfragen an Starlink sind daher nicht möglich.
- Einer Erhöhung des EIRPs auf etwa 82 dBW, welches sich durch eine Erhöhung der Sendeleistung auf 200 W mit einer Sendeantenne mit einem Durchmesser von 10 m (Antennengewinn ca. 60 dBi) ergibt. Beides sind relativ hohe Werte.
- Erweiterung der Frequenzbänder um das E- (60-90 GHz) und W-Band (80-110 GHz)

³ Starlink Germany GmbH, Mainzer Landstrasse 49, 60329 Frankfurt am Main

-
- Laserlink-Verbindungen und Verbindungen zu Bodenstationen mit einer Gesamtkapazität von 4 Tbit/s [9,12]
 - **4. Generation V4.0:**
Über die Starlink V4.0 Satelliten ist derzeit nichts Konkretes bekannt. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Kapazität der Satelliten weiter erhöht werden soll. In einer Veröffentlichung wird die langfristige Gesamtzahl aller Starlink Satelliten sogar mit 120.000 angegeben [15].

Die höhere Kapazität der Satelliten erfordert natürlich auch performantere Laserlink-Verbindungen sowie höhere Bitraten für die Verbindung Satellit – Bodenstation. Laut Starlink gibt es derzeit über 13.000 bidirektionale Laserlink-Verbindungen mit einer Datenraten von bis zu 200 Gbit/s [9].

Starlink betreibt weltweit derzeit etwa 150 Bodenstationen (Stand März 2025). Zusätzlich befinden sich 13 weitere im Bau und 19 sind in Planung. Die Bodenstationen sind strategisch über verschiedene Kontinente verteilt, darunter Standorte in Nordamerika, Europa (z.B. Aerzen und Usingen in Deutschland), Südamerika, Australien, Neuseeland, Afrika und dem Nahen Osten [17]. In der Erdfunkstelle Usingen hat Starlink beispielsweise in den letzten Jahren die Anzahl seiner Antenne von 9 auf 36 erhöht. Die Datenrate, mit der eine einzelne Bodenstation an die Starlink-Satelliten angebunden ist, variiert je nach technischer Ausstattung und Ausbaustand. Für Bodenstationen mit Ka-Band-Antennen wird eine Gesamtkapazität von etwa 80–90 Gbit/s pro Station mit mehreren Antennen (z. B. 9 Antennen) angegeben. Pro Parabolantenne sind im Ka-Band etwa 20 Gbit/s möglich [18]. Durch die zusätzliche Verwendung des E-Bandes kann die Kapazität noch weiter gesteigert werden.

Zwischenfazit:

- Derzeit sind je nach Quellenangabe 6244 bis 6751 Starlink Satelliten der 1. und 2. Generation aktiv.
- Die 1. Generation (V1.x) stellt im downstream eine Bitrate von 10 bis 20 Gbit/s bereit. Die upstream Bitrate entspricht etwa 40 % bis 50 % der downstream Bitrate.
- Die 2. Generation (V2-KU und V2-DTC) sollen eine downstream Bitrate von 96 Gbit/s und eine upstream Bitrate von rund 7 Gbit/s bereitstellen. Durch Polarisationsmultiplex, eine Erhöhung der Sendeleistung und der Verwendung eines weiteren 250 MHz Frequenzbandes z.B. im Ka-Band erscheinen die angegebenen Bitraten für V2.0 Satelliten als durchaus realistisch.
- Die 3. Generation (V3.0) sollen eine Bitrate von 1000/160 Gbit/s pro Satellit in downstream/upstream Richtung bereitstellen. Hierfür wären höhere Sendeleistungen, deutlich größere Antennen sowie erheblich größere Frequenzbänder in der Größenordnung von einigen GHz erforderlich. Aus heutiger Sicht darf bezweifelt werden, ob Frequenzbänder in dieser Größenordnung für Starlink bereitgestellt werden können.
- Zur weiteren Entwicklung der Satellitenzahl im Orbit gibt es keine konkreten Angaben. Es wurden bei der FCC Anträge für rund 12.000 Satelliten genehmigt. Vermutlich werden hier überwiegend Satelliten der 1. und 2. Generation eingesetzt. Die weitere Entwicklung der Satellitenzahl wird auch stark davon abhängen, ob und wann das Starship für den Transport

von Satelliten in den Orbit genutzt werden kann. Bisher wurden die Satelliten immer mit der Falcon 9 Rakete in ihre Umlaufbahn gebracht, da das Starship noch nicht einsatzbereit ist⁴ [19]. Mit einem funktionstüchtigen Starship wäre SpaceX konkurrenzlos [20].

- Es ist davon auszugehen, dass Starlink seine Satellitenflotte weiter bedarfsgerecht ausbauen wird, um eine ausreichende Servicequalität sicher zu stellen. Der ursprünglich anvisierte Realisierungszeitraum, in dem 2025 erste V3.0 Satelliten mit dem Starship in den Orbit gebracht und in 2026 alle 30.000 V3.0 Satelliten im Orbit sein sollen, ist sicherlich nicht mehr realistisch.

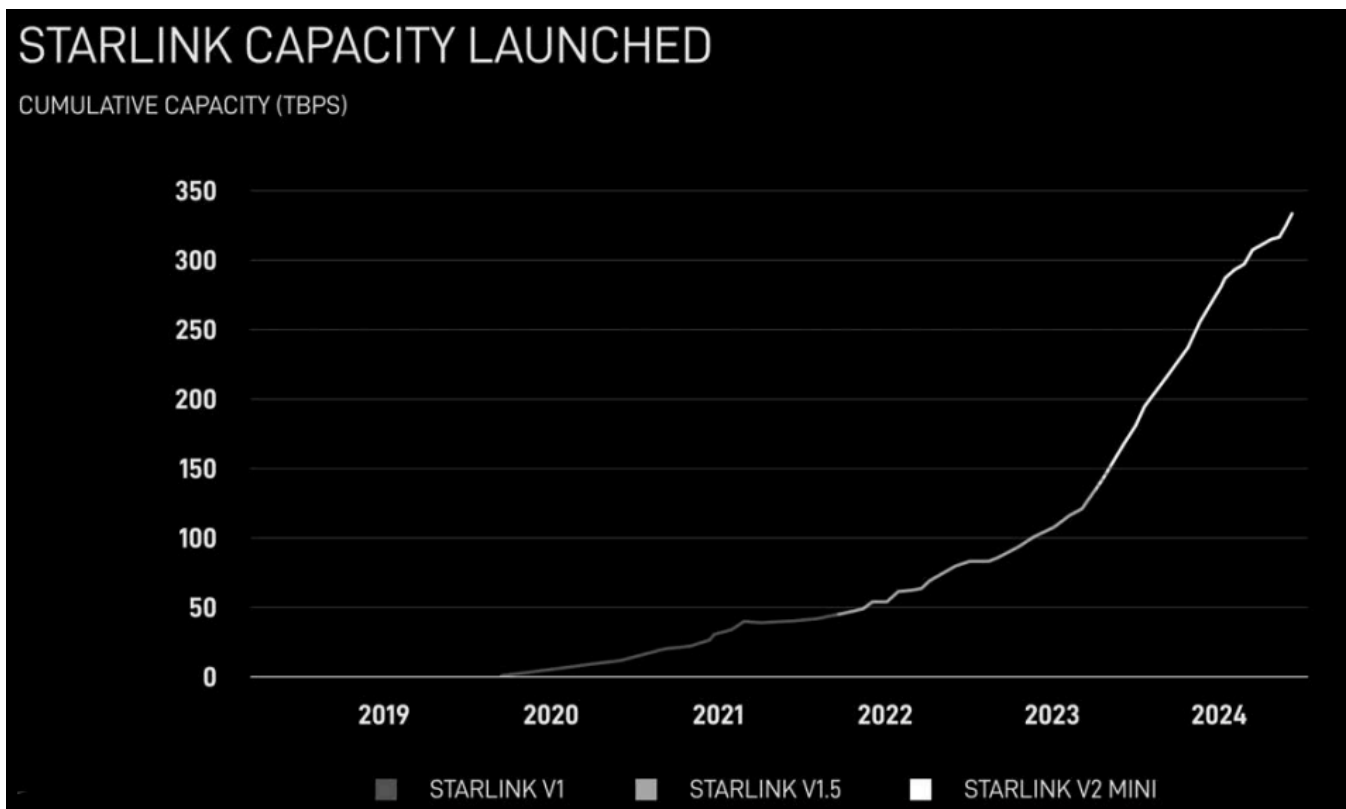


Abbildung 2: Gesamtkapazität der derzeit aktiven Starlink Satelliten. Quelle: [9]

Abbildung 2 zeigt die Gesamtkapazität der derzeit aktiven Satelliten gemäß den Angaben von Starlink [9]. Mit den o.a. Daten (3566 V1.x Satelliten mit einer Downstream Bitrate von 20 Gbit/s und 3185 V.20 Satelliten mit einer Downstream Bitrate von 96 Gbit/s) ergibt sich in Übereinstimmung mit Abbildung 1 eine derzeit verfügbare Gesamtkapazität von rund 377 Tbit/s. Damit lassen sich in Deutschland rund 200.000 Kunden mit 100 Mbit/s bzw. 20.000 Kunden mit 1 Gbit/s Kunden versorgen. Es ist allerdings zu beachten, dass es sich hierbei um Marketingangaben von Starlink handelt. Die tatsächlich bereitgestellte Gesamtkapazität dürfte deutlich niedriger sein.

⁴ Speziell für den Transport mit der Falcon 9 Rakete wurden die V2.0 Starlink Mini Satelliten (V2-Ku und V2-DTC) entwickelt.

Kapazität Starlink im downstream	V1.x	V2.0	V3.0
Globale Betrachtung			
Anzahl Satelliten pro Phase	3566	8434	30000
Kapazität Satellit [Gbit/s]	20	96	1000
Gesamtkapazität V1.x, V2.0 und V3.0 Satelliten	71.320	880.984	30.880.984
Betrachtung Deutschland			
Versorgungsfläche Satelliten [km ²]	446.112.439	446.112.439	510.064.472
Fläche Deutschland [km ²]	357.582	357.582	357.582
Anzahl Satelliten pro Phase (Gleichverteilung)	2,9	6,8	21,0
Erhöhungsfaktor für Deutschland	3	3	3
Anzahl Satelliten pro Phase	8,6	20,3	63,1
Gesamtkapazität Deutschland [Gbit/s]	171	2118	65213
Überbuchung	20	20	20
Downstream Bitrate / User [Gbit/s]	0,1	0,1	0,1
Anzahl User 100 Mbit/s	34.300	423.692	13.042.638
Downstream Bitrate / User [Gbit/s]	1	1	1
Anzahl User 1 Gbit/s	3.430	42.369	1.304.264
Downstream Bitrate / User [Gbit/s]	10	10	10
Anzahl User 10 Gbit/s	343	4.237	130.426

Tabelle 2: Abschätzung der weiteren Kapazitätsentwicklung der Starlink Satelliten

Tabelle 2 zeigt eine Abschätzung der weiteren Kapazitätsentwicklung des Starlink Satellitennetzwerkes basierend auf den o.a. Daten. Der Erhöhungsfaktor für Deutschland berücksichtigt, dass die Satelliten im Orbit nicht gleichverteilt sind, sondern Gegenden mit einer höheren Bevölkerungsdichte auch mit mehr Satelliten versorgt werden als Gegenden mit einer geringen Bevölkerungsdichte (siehe Abbildung 3). Gemäß Ref. [13] wurde der Erhöhungsfaktor mit drei nach oben abgeschätzt. Im Endausbau mit 42.000 Satelliten ergibt sich aufgrund der deutlichen größeren Kapazität der V3.0 Satelliten weltweit eine Gesamtkapazität von etwa 30.900 Tbit/s bzw. in Deutschland eine Gesamtkapazität von rund 65 Tbit/s. Diese Werte entsprechen weltweit etwa dem 13-fachen und in Deutschland fast dem 10-fachen Wert der Vorgängerstudie aus dem Jahr 2021 [1].

Dies korrespondiert natürlich auch mit einem deutlich größeren adressierbaren Marktanteil: *Mit dem Satellitennetzwerk Starlink ließen sich im Endausbau bei einer Best-Case Betrachtung rund. 13 Mio. Endkunden mit einer downstream-Datenrate von 100 Mbit/s bzw. 1,3 Mio. Endkunden mit einer downstream Datenrate von 1 Gbit/s versorgen.*

Die upstream Bitraten entsprechen bei den V1.x Satelliten etwa 40 % bis 50 % der downstream Bitraten. Bei den V2.0 Satelliten sind es nach Angaben von Starlink nur noch etwa 7 % und bei den V3.0 Satelliten 16 % der downstream Bitraten. Der upstream könnte sich daher als limitierender Faktor herausstellen.

Im Ergebnis lässt sich festhalten, dass sich die Kapazität des Starlink-Satellitennetzwerkes durch die derzeitige und künftige Verwendungen von deutlich performanteren Satelliten gegenüber der Vorgängerstudie aus 2021 signifikant gesteigert haben. Dies impliziert natürlich auch ein deutlich größeres adressierbares Marktsegment. Die Gesamtkapazität des Starlink-Satellitennetzwerkes liegt in Deutschland allerdings auch mit 42.000 Satelliten im Prozent-Bereich gegenüber Glasfasernetzen. Ein weiterer Nachteil des Starlink-Satellitennetzwerkes dürften die vergleichsweise geringen upstream-

Datenraten, der Installationsaufwand beim Endkunden sowie der hohe Stromverbrauch der Empfangsantenne sein.

Flächendeckung

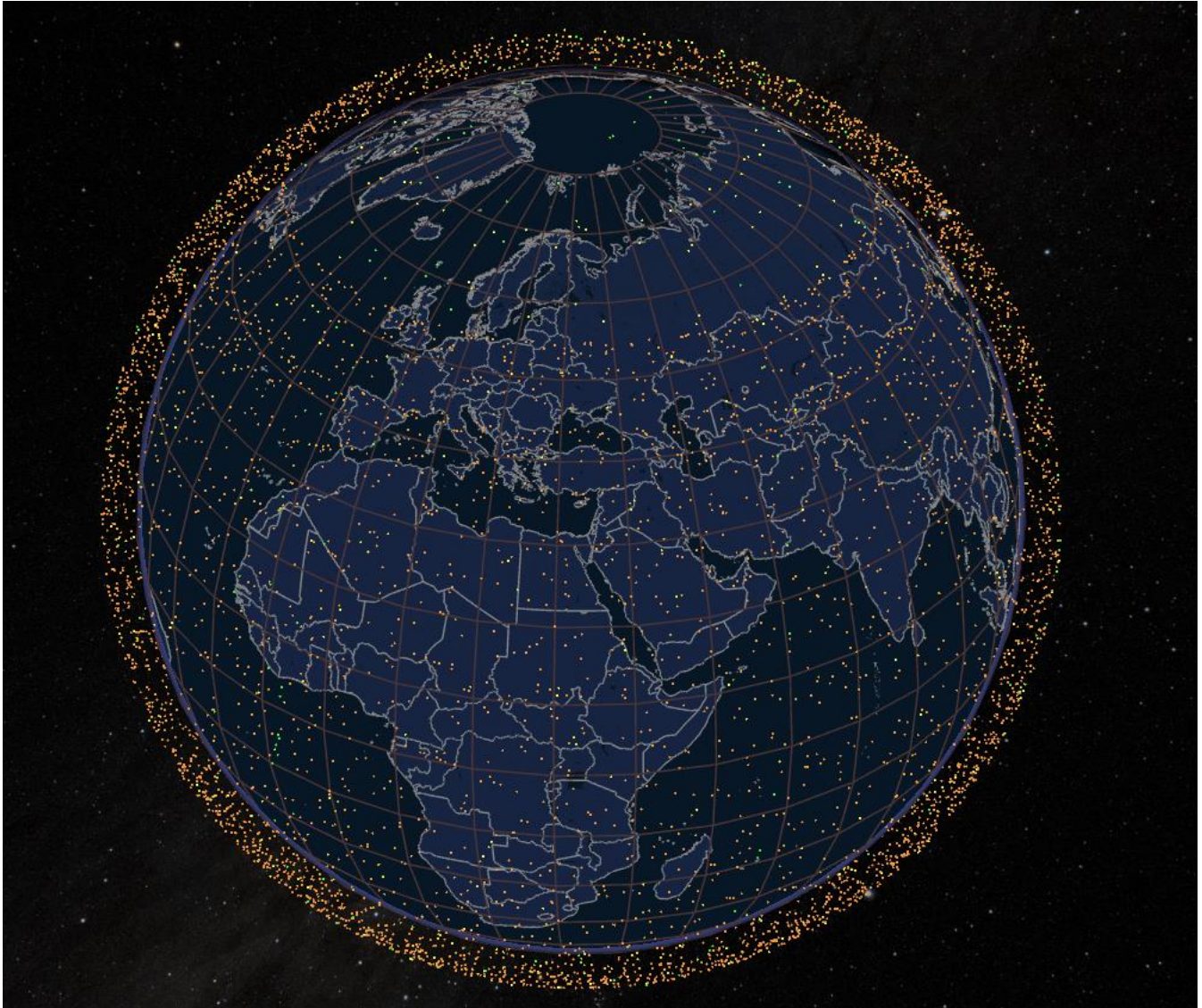


Abbildung 3: Globale Versorgung mit Starlink Satelliten. Die roten Punkte zeigen Bodenstationen (Stand: 08.05.2025, Quelle: [5])

Das Ziel von Starlink ist die globale Bereitstellung von Breitband-Internetzugängen insbesondere in ländlichen und abgelegenen Gegenden [9]. Durch die zusätzliche Versorgung der Pole können mit Starlink mittlerweile fast auf jedem Punkt der Erde inkl. der Weltmeere Internetzugänge realisiert werden. Nur in sehr hohen Breitengraden (nahe der Pole) kann die Abdeckung aufgrund der Bahnen der Satelliten zeitweise eingeschränkt sein.

Die einzige Voraussetzung hierfür ist eine freie Sicht auf den Himmel. Laut Starlink sollten sich keine Hindernisse wie Bäume, Gebäude oder Masten im Sichtfeld befinden, die höher als 20° über dem Horizont liegen, da dies die Verbindung beeinträchtigen oder unterbrechen kann [21].

Des Weiteren muss der Dienst in den entsprechenden Ländern freigeschaltet sein. Derzeit kann Starlink in über 118 Ländern genutzt werden und damit über 2,8 Milliarden Nutzer versorgt werden [8,24]. In den folgenden Ländern ist Starlink entweder offiziell nicht verfügbar oder verboten [22,23]:

- Russland: Starlink ist nicht lizenziert und offiziell verboten
- China: Starlink ist nicht zugelassen
- Kuba: Der Import und Betrieb von Starlink-Terminals ist offiziell verboten
- Nordkorea: Keine offizielle Zulassung
- Iran: offiziell verboten
- Syrien: Keine offizielle Zulassung
- Venezuela: Keine offizielle Zulassung
- Afghanistan: Keine offizielle Zulassung
- Myanmar: Der Betrieb von Starlink-Terminals ist offiziell verboten
- Südafrika: Stand Mai 2025 noch nicht verfügbar, könnte sich aber bald ändern
- Indien: Keine Zulassung, Markteintritt wird von Regulierungsbehörden blockiert

Weitere Länder mit eingeschränkter oder fehlender Verfügbarkeit sind meist Staaten mit restriktiven Telekommunikationsgesetzen oder politischen Vorbehalten (z.B. Belarus, Turkmenistan, Sudan, Simbabwe). In einigen dieser Länder wird Starlink trotz Verbot über Umwege oder illegal eingeführte Terminals genutzt, ist aber nicht offiziell zugelassen und kann jederzeit gesperrt werden.

Latenzen

Ziel von Starlink ist es, die Paketverluste zu minimieren und ein maximale Latenz von 20 ms zu gewährleisten [17]. In den letzten Monaten konnte die mittlere Latenz durch verschiedene Maßnahmen in den USA in der Hauptverkehrsstunde von 48,5 ms auf 33 ms und das 99%-Perzentil von 150 ms auf weniger als 65 ms reduziert werden. Auch außerhalb der USA konnte die Latenz um 25 % bis 35 % verringert werden [17].

In Ref. [2] aus 2024 wurden an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg umfangreiche Performance Messungen des Starlink-Satellitennetzwerkes durchgeführt: insgesamt wurden fast 1,7 Millionen Messungen von 309 Endkundenn in 29 unterschiedlichen Ländern durchgeführt. Bei den Messungen wurden mittlere Latenzwerte im Bereich von 40 ms bis 50 ms ermittelt, wobei die Werte in der letzten Zeit in Hauptlastzeiten verbessert werden konnten [2].

Zum Vergleich: Bei Glasfaser PON Systemen liegen die Latenzen im Bereich von 2 bis 10 ms [24]. Bei sehr großen Entfernungen (1000 km oder mehr) ist hingegen aufgrund der größeren Ausbreitungsgeschwindigkeit von elektromagnetischen Wellen in Vakuum gegenüber der Geschwindigkeit in Lichtwellenleitern die Latenz von Starlink geringer als die von Glasfasernetzen [1]. Dieser Vorteil über große Distanzen dürfte vor allen Dingen für die Finanzindustrie sowie das Militär von großer Bedeutung sein.

Services und Nutzerzahlen

Gemäß Ref. [9] werden derzeit 4,6 Mio. Endkunden (Endnutzer und Organisationen) weltweit mit Starlink-Internetzugängen versorgt. Die genaue Anzahl der Starlink-Nutzer in Deutschland wird von SpaceX nicht offiziell veröffentlicht. Gemäß dem Jahresbericht Telekommunikation der Bundesnetzagentur nutzten 2024 knapp 83.000 Endkunden einen Internetzugang über Satellit [25]. Starlink kann eine wichtige Rolle bei der Erbringung der Mindestversorgung mit Telekommunikationsdiensten von bislang besonders schlecht versorgten Haushalte insbesondere in Einzellagen und Gebieten spielen, die selbst mit der staatlichen Gigabitförderung nicht mehr mit verhältnismäßigem Aufwand erschlossen werden können.

In Bezug auf Nutzerzahlen und Umsatz hinkt Starlink dem Plan von SpaceX hinterher: in 2022 betrug der Umsatz gerade einmal 1,4 Milliarden US-Dollar und die Nutzerzahl lag bei etwas über einer Million. Ursprünglich anvisiert wurden für 2022 eine Nutzerzahl von 20 Millionen und ein Umsatz von 12 Milliarden US Dollar [26].

Die von Starlink bereitgestellten Services können wie folgt kategorisiert werden:

- Stationäre Internetzugänge
- Nomadische Internetzugänge
- Mobile Internetzugänge
 - Earth Stations in Motion: mobile Empfänger wie z.B. Schiffe, Fahrzeuge oder Flugzeuge mit Empfangsantennen wie für stationäre oder nomadische Internetzugänge.
 - Mobilfunk: direkte Kommunikation mit Smartphones in LTE/5G Frequenzbereichen ohne zusätzliche Empfangsantenne

Stationäre Internetzugänge

Gegenüber der Vorgängerstudie aus 2021 wurden die Kosten für einen Starlink-Internetanschluss deutlich gesenkt, und liegen jetzt in der Größenordnung wie vergleichbare Festnetzangebote. Für Privathaushalte bietet Starlink folgende stationäre Internetzugänge an [28]:

- Privathaushalt-Lite: 29 € pro Monat
 - Unbegrenzte Datenmenge, aber niedrigere Priorität im Netzwerk: Bei hoher Auslastung (z. B. abends) werden Lite-Nutzer gegenüber Nutzern des regulären Privathaushalt-Tarifs zurückgestuft.
 - Laut Starlink sollten die Geschwindigkeiten zwischen 50 und 100 Mbit/s liegen.
 - Keine Vertragsbindung, monatlich kündbar.
- Privathaushalt: 50 € pro Monat
 - Ebenfalls unbegrenzte Datenmenge, aber höhere Netzwerkpriorität: Nutzer erhalten auch bei hoher Netzauslastung bevorzugt Bandbreite.
 - Die Downloadraten sollten zwischen 150 und 250 Mbit/s liegen.

Der Dienst ist standortgebunden. Geschwindigkeitsobergrenzen gibt es nicht. Das Standard-Kit bestehend aus Satellitenschüssel, Ständer, Gen3 WLAN-Router (Wi-Fi 6), Starlink-Kabel, Stromkabel

und Netzteil kostet einmalig 349 €. Bei einer Vertragslaufzeit von 12 Monaten wird das Standard-Kit kostenlos bereitgestellt. Die Satellitenschüssel ist eine rechteckförmige Phased Array Antenne mit den Maßen 594x383 mm. Angaben zum Antennengewinn gibt es nicht. Der Energieverbrauch der aktuellen Empfangsantenne Starlink Gen3 Vers.4 liegt bei durchschnittlich 50-100 W und konnte gegenüber den Vorgängermodellen (110-150 W) gesenkt werden [41]⁵. Die Betriebstemperatur liegt im Bereich -30°C bis +50°C und die Schneeschmelzleistung beträgt bis zu 4 cm pro Stunde [27].

Es gibt keine Angaben zu den Herstellungskosten der Empfangsantenne. Für die Vorgängermodelle (Gen1/Gen2) wurde in Branchenanalysen ein Herstellungspreis von etwa 600 US-Dollar (2021) genannt, der aber inzwischen durch Optimierung und Skaleneffekte deutlich gefallen sein dürfte. Schätzungen aus der Industrie gehen davon aus, dass die Produktionskosten der aktuellen Gen3 V4 Standard-Antenne bei etwa 250–300 US-Dollar (rund 230–280 €) liegen könnten.



Abbildung 4: Starlink Standard V4 Satelliten Internet Kit. Quelle: [28]

Für Geschäftskunden bietet Starlink folgende stationäre Internetzugänge an [27]:

- Local Priority: Ideal für standortgebundene und mobile Unternehmen an Land
 - Landnutzung und Regionalreisen in einem Land, Netzwerkpriorität, zuverlässige standortgebundene Nutzung und Nutzung in Bewegung
 - Monatliche Tarife
 - Local Priority 50 GB: 49 €
 - Local Priority 500 GB: 125 €
 - Local Priority 1 TB: 220 €
 - Local Priority 2 TB: 410 €

⁵ Gemäß [41] beträgt die Leistungsaufnahme der Standard Starlink Antenne im Durchschnitt 75-100 W und im Leerlauf 20W. Die Standard Starlink Antenne mit Motor benötigt im Durchschnitt 50-75 W und im Leerlauf 20 W. Die Starlink Mini Antenne benötigt im Durchschnitt 20-40 W und im Leerlauf 15 W.

- Global Priority: Ideal für maritime und globale Konnektivität
 - Nutzung auf dem Meer und global an Land, Netzwerkpriorität, Zuverlässige standortgebundene Nutzung und Nutzung in Bewegung
 - Monatliche Tarife
 - Global Priority 50 GB: 241 €
 - Global Priority 500 GB: 625 €
 - Global Priority 1 TB: 1105 €
 - Global Priority 2 TB: 2065 €

Die erforderliche Hardware (Flat-HP-Kit) für Geschäftskunden kostet zur Zeit 1.201 €.

Gemäß den Ergebnissen der Messungen aus Ref. [2] betragen die realen mittleren Datenraten derzeit zwischen 100 und 200 Mbit/s im downstream und zwischen 10 und 20 Mbit/s im upstream, wobei die Datenraten in Nordamerika im Vergleich zu anderen Ländern geringer sind und abhängig von der Tageszeit auf einen Mittelwert von bis zu 50 Mbit/s sinken können. Die Abschätzung aus Ref. [39,40] kommt zu dem Ergebnis, dass die Kapazität des Starlink-Satellitennetzwerkes „überraschend niedrig“ sei und es daher zweifelhaft ist, ob Starlink für den Breitbandausbau in den USA eine bedeutende Rolle spielen kann. Um hierüber Aussagen treffen zu können, sei zunächst eine fundierte Kapazitätsanalyse erforderlich. Die Studie [40] basiert auf den Kapazitätsangaben von Starlink.

Da sich bei Starlink die Netzinfrastruktur im Weltall und nicht auf der Erde befindet, ist der Dienst natürlich insbesondere überall dort geeignet, wo Netzinfrastruktur durch Katastrophen (z.B. Flutkatastrophe im Ahrtal 2021, Hurrikan Helene 2024, Erdbeben in Vanuatu, Stromausfall in Spanien und Portugal 2025) oder militärische Auseinandersetzungen (z.B. Ukraine, Gaza-Streifen) zerstört wurde.

Nomadische Internetzugänge



Abbildung 5: Starlink Mini Satelliten Internet Kit. Quelle: [29]

Speziell für die nomadische Nutzung (Reisen) bietet Starlink seit Juni 2024 eine abgespeckte Hardware an: Starlink Mini. Der Mini-Starlink ist ein kompaktes, tragbares Kit, das problemlos in einen Rucksack passt und für Highspeed-Internet für unterwegs entwickelt wurde. Es wiegt ca. 1,5 kg und bietet einen integrierten WLAN-Router, geringeren Stromverbrauch (25-40 W), Gleichstromanschluss und maximale Download-Geschwindigkeiten von über 100 Mbit/s. Folgende Tarife werden angeboten [27]:

- Reise 50 GB: 49 € (ideal für Privatreisende mit geringer Nutzung)
- Reise unbegrenzt: 72 € (ideal für Wohnmobile, Boote, PKW)

Mobile Internetzugänge

Earth Stations in Motion

Für mobile Empfänger mit Empfangsantennen wie für stationäre oder nomadische Internetzugänge gibt es u.a. folgende Anwendungen [9]:

- Luftfahrt:
In 2024 hat Starlink 450 Flugzeuge mit Empfangsantennen ausgestattet und über 4,6 PByte an Daten übermittelt. Zu den Kunden gehören Hawaiian Airlines, Qatar Airways, United Airlines, Air France, Air New Zealand, Zipair, airBaltic und JSX. Verträge über die Ausstattung von weiteren 2000 Flugzeugen mit Starlink Internet wurden bereits geschlossen. In den Flugzeugtypen Boeing 777-300, Airbus A321NEO und Airbus A330-200 wurden jeweils zwei Starlink-Empfangsantennen installiert, um eine Gesamtdatenrate von bis zu 1 Gbit/s bereitstellen zu können [9].
- Schifffahrt:
2024 hat Starlink mehr als 75.000 Schiffe mit breitbandigen Internet-Zugängen versorgt, darunter über 300 Kreuzfahrtschiffe. Damit wurden mehr als 10 Millionen Kreuzfahrtpassagiere an das Internet angebunden. Reedereien wie Maersk, Hapag-Lloyd und Mitsui O.S.K. Lines nutzen Starlink, um ihre Prozesse mit Echtzeitdaten zu verbessern. Insgesamt werden monatlich 50 Petabyte an Daten auf See verbraucht [9].
- Bahn:
In 2024 konnten laut Starlink bedeutende Fortschritte bei der Internetversorgung für Bahnreisende erzielt werden. Floridas Brightline war der weltweit erste Personenzug, der Starlink einführte und kostenloses, unterbrechungsfreies WLAN in den Zügen zwischen Miami und Orlando anbot. Weiterhin führte ScotRail Starlink in seinen Zügen der Far North Line in den schottischen Highlands ein und sorgte so für zuverlässiges Internet auf abgelegenen Strecken nach Inverness, Thurso und Wick.
- Landfahrzeuge:
Weitere Anwendungsgebiete sind die Vernetzung von Landfahrzeugen wie LKWs, Bussen/Reisebussen, Traktoren und Landmaschinen [27].

Mobilfunk

Eine bedeutende Innovation von Starlink in den letzten Jahren ist der Direct-to-Cell Service. Die Direct-to-Cell-Technik ermöglicht es, dass herkömmliche LTE-fähige Smartphones mit eSIM direkt und ohne zusätzliche Hardware oder spezielle Apps mit Starlink-Satelliten kommunizieren können, sofern freie Sicht zum Himmel besteht [29].

Die dafür eingesetzten Starlink-Satelliten V2-DTC sind mit einem Mobilfunkmodul (eNodeB) ausgestattet, das wie eine Mobilfunk-Basisstation im Weltraum funktioniert. Herausforderungen sind dabei insbesondere der sehr geringe Antennengewinn von Smartphones (in der Größenordnung von 0 dBi mit einer Sendeleistung von 0,2 W) sowie die sich sehr schnell bewegenden Satelliten [30]. Hierfür wurden spezielle 2,7x2,3 m große Phased Array Antennen mit einer großen Sendeleistung und Empfänger mit einer extrem geringen Empfindlichkeit entwickelt [30].

Das Smartphone verbindet sich direkt per LTE oder später mit 5G mit dem Satelliten, der wiederum über Laserlink-Verbindungen an andere Satelliten oder über Bodenstationen direkt an das Internet angebunden ist, und so mit dem Partner-Mobilfunknetz auf der Erde kommuniziert. Dabei werden lizenzierte Mobilfunkfrequenzen der Partner-Unternehmen im 1,6 und 2,7 GHz Band verwendet [30]. Für den Nutzer fühlt sich das wie normales internationales Roaming an: Das Smartphone loggt sich ins Starlink-Satellitennetzwerk ein, wenn kein terrestrisches Netz verfügbar ist. Die Funktionsweise ist wie folgt:

- Das Smartphone sucht nach einem Mobilfunksignal (LTE).
- Ist kein terrestrischer Mast erreichbar, verbindet es sich per eSIM mit einem Starlink-Satelliten im Orbit [31,32].
- Der Satellit leitet die Verbindung per Laserlink an andere Satelliten oder direkt zu einer Bodenstation weiter.
- Über das Partner-Mobilfunknetz (z.B. T-Mobile, Salt, KDDI) werden Textnachrichten und später auch Anrufe sowie mobile Daten vermittelt.

Folgende Ausbaustufen sind geplant:

- Im Januar 2024 wurden die ersten 6 Satelliten mit der Direct-to-Cell Technologie in den Orbit gebracht. Zunächst ist die Nutzung auf Textnachrichten beschränkt.
- Ab 2025 sollen Sprache und mobile Daten folgen, ebenso die Unterstützung von IoT-Geräten. In 2025 sollen einige 100 weitere Satelliten mit Dircet-to-Cell Technologie in den Orbit gebracht werden, um die Funkabdeckung weiter zu verbessern.

Die Datenrate soll anfangs aber bei gerade einmal 2 bis 4 Mbit/s liegen, was für Notfälle, Messaging oder einfache Anwendungen gedacht ist [29].

Der Dienst ist bereits in den USA und Neuseeland verfügbar und wurde in Kanada, Australien, Neuseeland, Japan, der Schweiz, Chile, Peru, Schweden und der Ukraine getestet. Deutschland ist Stand Mai 2025 noch nicht offiziell dabei, aber der internationale Rollout läuft weiter. Während der Beta-Phase (bis Juli 2025) ist der Dienst in den unterstützten Ländern kostenlos nutzbar. Danach kostet Starlink Direct to Cell bei T-Mobile in den USA 10 US-Dollar pro Monat für alle Kunden (auch von AT&T

und Verizon) [33]. Für andere Länder und Mobilfunkbetreiber können die Preise je nach Tarif leicht abweichen, werden aber voraussichtlich im Bereich von 10–20 US-Dollar/Euro pro Monat liegen. Kompatibel sind aktuelle Smartphones mit LTE-/5G-Unterstützung und eSIM (z. B. iPhone 14 und neuer, Samsung Galaxy S21 und neuer, Google Pixel 9). Eine Liste aller kompatiblen Smartphones findet sich in [34].

Starlink geht dabei mit Partnerschaften mit den Mobilfunkbetreibern T-Mobile, Rogers (Canada), Optus (Australia), One NZ (New Zealand), KDDI (Japan), Salt (Schweiz), und Entel (Chile und Peru) ein [9].

Direct-to-Cell soll Funklöcher weltweit schließen, insbesondere in abgelegenen Regionen, auf See oder in Katastrophengebieten. Nutzer können so auch ohne Mobilfunkmast in der Nähe erreichbar bleiben, Notrufe absetzen und später auch surfen oder telefonieren. Im Oktober 2024 erhielt SpaceX eine Notfallgenehmigung, um den Direct-to-Cell-Dienst für T-Mobile Kunden in den von den Hurrikanen Helene und Milton betroffenen Regionen im Südosten der USA vorübergehend zu aktivieren [9]. „Elon Musk betont, dass die Technik zwar Mobilfunk überall auf der Welt ermöglicht, sie stellt aber keine sinnvolle Konkurrenz mit bestehenden terrestrischen Mobilfunknetzen dar.“ [29]

Weitere LEO Satellitensysteme

Das Starlink Satellitennetzwerk wird von einem Privatunternehmer, Elon Musk, kontrolliert. Mittlerweile ist vielen die wirtschaftliche, politische und insbesondere auch die militärische Bedeutung derartiger Satellitennetzwerke klar geworden. Insofern kann es nicht überraschen, dass weitere Akteure ähnliche Netzwerke realisieren wollen.

Konstellation	Status	Aktive Satelliten	Geplante Satelliten	Zielgruppe/ Anwendung
Starlink (SpaceX)	Betrieb, Ausbau	6244 bis 6751	12.000+ (42.000)	Privatkunden, Unternehmen
OneWeb (Eutelsat OneWeb)	Betrieb, Ausbau	600+	6000	Unternehmen, Behörden, Netzbetreiber
Iridium (Iridium Communication)	Betrieb	66	66	Satellitentelefonie, IoT
Globalstar (Globalstar Inc.)	Betrieb	48	48	Satellitentelefonie, IoT
Orbcomm (Orbcomm Inc.)	Betrieb	31	31	IoT, Tracking

Tabelle 3: Übersicht über bereits realisierte LEO Satellitennetzwerke. Quelle: [1,36]

Konstellation	Status	Aktive Satelliten	Geplante Satelliten	Geplanter Start/ Abdeckung
Amazon Kuiper (Kuiper, USA)	Aufbau	27 [38]	3236	Start kommerziell ab 2025
China GW/Guowang	Planung/Aufbau	0	10.000+	ab 2025, China
Telesat Lightspeed (Telesat, Kanada)	Aufbau	0	198	2026, Fokus: Nordamerika, Unternehmen
AST SpaceMobile	Pilot/Planung	0	243	Ab 2025, Direktverbindung zu Handys
Rivada Space (Rivada Space Networks)	Planung	0	600	Ab 2026, Fokus: Daten-Backbone
IRIS (EU)	Planung		290 [38]	ab 2025, Fokus: Internetverbindungen für Behörden, Unternehmen und Bürger insbes. in Krisenzeiten

Tabelle 4: Übersicht über geplante und im Aufbau befindliche LEO Satellitennetzwerke. Quelle: [1,36]

Tabelle 3 und Tabelle 4 geben eine Übersicht über die bereits realisierten, geplanten und im Aufbau befindlichen LEO Satellitennetzwerke. Darüber hinaus prüft die Bundeswehr den Aufbau eines eigenen Satellitennetzwerkes für militärische Zwecke unabhängig von IRIS [36], wobei unklar ist, ob das Projekt IRIS überhaupt realisiert wird [37]. Es wird deutlich, dass es sehr viele Akteure im Bereich LEO Satellitennetzwerke gibt, was natürlich den Wettbewerb fördert. Andererseits sind die Anzahl der möglichen Umlaufbahnen sowie die Funkfrequenzen begrenzte Ressourcen, um die alle Satellitensysteme konkurrieren müssen. Es bleibt daher abzuwarten, ob und welchem Umfang die geplanten LEO Satellitennetzwerke tatsächlich realisiert werden können. In jedem Fall nimmt natürlich mit der Anzahl der Objekte im Low Earth Orbit auch deren Kollisionswahrscheinlichkeit zu.

Fazit

Seit der Veröffentlichung der Grundlagenstudie im Auftrag des Bundesverband Breitbandkommunikation e. V. (BREKO) in 2021 [1] haben sich beim Starlink Satellitennetzwerk signifikante Verbesserungen insbesondere in den folgenden Bereichen ergeben:

- Die Kapazität des Netzwerkes hat sich erheblich vergrößert:
 - Derzeit kann mit 6244 bis 6751 Satelliten global eine Gesamtkapazität von rund 377 Tbit/s im downstream bereit gestellt werden.

- Zur weiteren Entwicklung der Satellitenzahl im Orbit gibt es keine konkreten Angaben. Zwar wurden bei der FCC Anträge für rund 12.000 Satelliten genehmigt, die weitere Entwicklung der Satellitenzahl wird aber stark davon abhängen, ob und wann das Starship für den Transport von Satelliten in den Orbit genutzt werden kann.
- Es ist davon auszugehen, dass Starlink seine Satellitenflotte weiter bedarfsgerecht ausbauen wird, um eine ausreichende Servicequalität sicher zu stellen. Der ursprünglich anvisierte Realisierungszeitraum, in dem 2025 erste Satelliten der 3. Generation (V3.0) mit dem Starship in den Orbit gebracht und in 2026 weitere 30.000 V3.0 Satelliten im Orbit sein sollen, ist sicherlich nicht mehr realistisch.
- Insbesondere durch die geplante massive Steigerung der Kapazität der V3.0 Satelliten ergibt sich eine signifikant höhere Gesamtkapazität des Starlink-Satellitennetzwerkes als in der Studie [1] abgeschätzt: Im Endausbau unter Annahme von 42.000 Satelliten ergeben sich Gesamtkapazitäten, die weltweit etwa dem 13-fachen und in Deutschland fast dem 10-fachen Wert der Vorgängerstudie aus dem Jahr 2021 entsprechen [1].
- Dies impliziert einem deutlich größeren adressierbaren Marktanteil: In Deutschland ließen sich mit dem Starlink-Satellitennetzwerk im Endausbau rund. 13 Mio. Endkunden mit einer downstream-Datenrate von 100 Mbit/s bzw. 1,3 Mio. Endkunden mit einer downstream Datenrate von 1 Gbit/s versorgen. Ob die angegebenen Kapazitäten aber tatsächlich realisiert werden können, bleibt abzuwarten.
- Ferner ist davon auszugehen, dass der hohe Installationsaufwand beim Endkunden ein Show-Stopper sein wird und zwar insbesondere dort, wo es Festnetz-Alternativen gibt. Darüber hinaus leben die meisten Deutschen in Mehrfamilienhäusern, wo eine Zustimmung der Eigentümergemeinschaft erforderlich ist, wenn eine Empfangsantenne auf dem Dach oder Balkon (Gemeinschaftseigentum) installiert werden soll.
- Ein weiteres Problem dürfte die mit 75-100 W immer noch sehr hohe Leistungsaufnahme der Empfangsantenne sein, die zu einem hohen Stromverbrauch führt.
- Gemäß den Ergebnissen der Messungen aus Ref. [2] betragen die realen mittleren Datenraten derzeit zwischen 100 und 200 Mbit/s im downstream und zwischen 10 und 20 Mbit/s im upstream.
- Flächendeckung:
Durch die massive Erweiterung der Satelliten-Flotte sowie die zusätzliche Abdeckung der Pole bietet das Starlink-Satellitennetzwerk mittlerweile eine nahezu globale Abdeckung. Allerdings ist der Dienst in einigen Ländern (z.B. Russland, China) aus regulatorischen Gründen nicht erlaubt.
- Latenzen:
Die derzeit gemessenen mittlere Latenzen liegen im Bereich von 40 ms bis 50 ms. Ziel von Starlink ist es, diese Werte auf max. 20 ms zu reduzieren.
Zum Vergleich: Bei Glasfaser PON Systemen liegen die Latenzen im Bereich von 2 bis 10 ms. Bei sehr großen Entfernungen (1000 km oder mehr) ist hingegen die Latenz von Starlink

geringer als die von Glasfasernetzen [1]. Dieser Vorteil dürfte vor allen Dingen für die Finanzindustrie sowie das Militär von großer Bedeutung sein.

- Kosten:

Gegenüber der Vorgängerstudie aus 2021 wurden die Kosten für einen Starlink-Internetanschluss deutlich gesenkt, und liegen jetzt in der Größenordnung wie vergleichbare Festnetzangebote oder sogar darunter (für Privatkunden 29 bis 50 € pro Monat).

- Dienste und Nutzerzahlen:

- Gemäß Starlink gibt es derzeit weltweit 4,6 Mio. Nutzer (in Deutschland insgesamt 83.000 Satellitennutzer) und der Umsatz beträgt 2022 nur 1,4 Milliarden US-Dollar. Dieser Wert sowie die Nutzerzahlen bleiben weit hinter den ursprünglichen Erwartungen zurück (erwartet wurden für 2022 etwa 20 Mio. Nutzer und ein Umsatz von 12 Milliarden US-Dollar).
- Über den stationären Internetzugang für Privat- und Geschäftskunden hinaus gibt es mittlerweile folgende Dienste:
 - Nomadische Nutzung: speziell für Reisende wurde eine abgespeckte Empfangsantenne Starlink Mini (1,5 kg, Leistungsaufnahme 25-40 W) entwickelt, die sich auch z.B. für Wohnmobile, PKWs und Boote eignet. Die monatlichen Kosten belaufen sich auf 49 bis 72 €.
 - Mobile Nutzung mit Standard-Empfangsantennen für Flugzeuge, Züge, Schiffe und größere Landfahrzeuge wie LKW, Busse und Landmaschinen. 2024 wurden so 450 Flugzeuge und rund 75.000 Schiffe mit Starlink-Internet versorgt.
 - Mobile Nutzung mit herkömmlichen Smartphones ohne zusätzliche Empfangsantenne (Direct-to-Cell): Seit 2024 sind in einigen Ländern mit aktuellen Smartphones direkte Verbindungen über LTE mit Starlink Satelliten möglich. Ziel ist die Übertragung von Textnachrichten, später auch von Sprache und Daten sowie IoT Anwendungen. Die Datenraten liegen im einstelligen Mbit/s-Bereich. Der Dienst ist in Deutschland derzeit noch nicht verfügbar.

- Konkurrenzsysteme:

Die wirtschaftliche, politische und insbesondere auch die militärische Bedeutung von LEO Satellitennetzwerken ist mittlerweile vielen klar geworden. Insofern ist es nicht überraschend, dass weitere Akteure derartige Netzwerke realisieren wollen. Alle bereits realisierten und noch geplanten Satelliten-Systeme müssen um die Ressourcen Umlaufbahnen und Funkfrequenzen konkurrieren. Es bleibt daher abzuwarten, ob und in welchem Umfang die geplanten LEO Satellitennetzwerke tatsächlich realisiert werden können.

Referenzen

[1]	K. Obermann, „Performance von Breitband Internetzugängen via LEO Satelliten gemäß dem Starlink Konzept“, 26.04.2021, https://brekoverband.de/2021/08/23/satelliteninternet-keine-alternative-fuer-glasfasernetze/ abgerufen am 02.05.2025
[2]	M. Bülo et al., „Crowdsourced Starlink Performance Measurements from https://starlinkstatus.space “, IEEE International Conference on Communications (ICC), 09-13 June 2024
[3]	STARLINK SATELLITE DEMISABILITY, https://www.starlink.com/de/updates , abgerufen am 02.05.2025
[4]	Daniel Voelsen, „Internet aus dem Weltraum“, SWP-Studie 2, Februar 2021, Berlin
[5]	https://satellitemap.space/ , abgerufen am 28.07.2025
[6]	https://spaceambition.substack.com/p/passive-deorbiting , abgerufen am 02.05.2025
[7]	https://futurezone.at/produkte/elon-musk-details-neue-starlink-generation-satellit-gen-2-tesla-starship-flug-start-orbit/402026181 , abgerufen am 02.05.2025
[8]	https://www.ciscolive.com/c/dam/r/ciscolive/global-event/docs/2024/pdf/BRKSEC-2150.pdf abgerufen am 05.05.2025
[9]	Starlink, Progress Report 2024
[10]	https://starwalk.space/de/news/spacex-starlink-satellites-night-sky-visibility-guide abgerufen am 05.05.2025
[11]	https://www.swr.de/wissen/wie-starlink-satelliten-am-himmel-sehen-100.html abgerufen am 05.05.2025
[12]	https://www.rvmobileinternet.com/what-the-failure-of-starship-flight-7-means-for-starlink-v3-satellites-coming/ abgerufen am 07.05.2025
[13]	F. Leschka et al., „Realisierungsoptionen einer angemessenen Versorgung über Satellit im Kontext des novellierten Universaldienstes“, Studie für die BNetzA 2021, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Grundversorgung/start.html , abgerufen am 02.05.2025
[14]	https://www.nextbigfuture.com/2025/02/spacex-version-3-starship-and-version-3-starlink-both-arrive-in-2025.html , abgerufen am 05.05.2025
[15]	https://www.nextbigfuture.com/2025/03/spacex-starship-orbital-catch-in-60-days-and-worldchanging-giant-starlink-satellites.html , abgerufen am 07.05.2025
[16]	https://www.heise.de/news/Starlink-Kleinere-Vorlaeufer-der-naechsten-Satelliten-Generation-gestartet-7529691.html , abgerufen am 07.05.2025
[17]	IMPROVING STARLINK’S LATENCY, https://www.starlink.com/de/updates , abgerufen am 09.05.2025
[18]	https://mikepuchol.com/modeling-starlink-capacity-843b2387f501 , abgerufen am 09.05.2025
[19]	https://www.nasaspaceflight.com/2025/04/spacex-roundup-q12025/ , abgerufen am 08.05.2025
[20]	https://elib.dlr.de/209271/ abgerufen am 10.05.2025
[21]	https://www.starlink.com/de/support/article/6d0a3213-27e9-1698-d877-08e181928e25 , abgerufen am 09.05.2025
[22]	https://www.tagesschau.de/ausland/amerika/starlink-internet-musk-100.html , abgerufen am 09.05.2025

[23]	https://de.cibercuba.com/noticias/2025-03-18-u1-e129488-s27061-nid299115-starlink-abre-paso-cuba-pese-prohibiciones-cual , abgerufen am 09.05.2025
[24]	https://www.glasfaser-internet.info/speed/glasfaser-ping.html , abgerufen am 09.05.2025
[25]	Bundesnetzagentur, Jahresbericht Telekommunikation 2024
[26]	https://www.heise.de/news/Starlink-Bei-Nutzerzahl-Umsatz-und-Gewinn-drastisch-hinter-dem-Plan-von-SpaceX-9304894.html abgerufen am 09.05.2025
[27]	https://www.starlink.com/ abgerufen am 09.05.2025
[28]	https://uncrate.com/de/article/starlink-mini-satelliten-internet-kit/ abgerufen am 09.05.2025
[29]	https://www.heise.de/news/Direct-to-Cell-Stsrlinks-Satelliten-fuer-direkte-Smartphone-Anbindung-gestartet-9586611.html , abgerufen am 10.05.2025
[30]	SPACEX SENDS FIRST TEXT MESSAGES VIA ITS NEWLY LAUNCHED DIRECT TO CELL SATELLITES, https://www.starlink.com/de/updates , abgerufen am 09.05.2025
[31]	https://www.nextbigfuture.com/2025/03/fcc-allows-spacex-starlink-direct-to-cellphone-power-for-4g-5g-speeds.html abgerufen am 10.05.2025
[32]	https://www.teslarati.com/t-mobile-starlink-cellular-5g/ abgerufen am 10.05.2025
[33]	https://www.satellitetoday.com/connectivity/2025/04/25/t-mobile-cuts-price-on-starlink-satellite-messaging-service-to-start-in-july/ abgerufen am 10.05.2025
[34]	https://www.satelliteinternet.com/resources/starlink-direct-to-cell-price-release-date/ abgerufen am 10.05.2025
[35]	https://www.netzpiloten.de/die-besten-starlink-alternativen-satelliteninternet-fuer-alle/ abgerufen am 10.05.2025
[36]	https://www.heise.de/news/Ein-eigenes-Starlink-Bundeswehr-prueft-Aufbau-von-Satellitenkonstellation-10345434.html abgerufen am 10.05.2025
[37]	https://www.golem.de/news/experte-europaeische-starlink-alternative-iris-vor-dem-scheitern-2507-197702.html
[38]	https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-space/iris2-secure-connectivity_en abgerufen am 10.05.2025
[39]	https://www.heise.de/news/Starlink-Erstmals-Zahlen-zur-ueberraschend-niedrigen-Kapazitaetsgrenze-10493957.html?view=print abgerufen am 28.07.2025
[40]	Sascha Meinrath et al., „Starlink Capacity Analysis v0.2“, 18. July 2025
[41]	https://www.starlink.com/de/support/article/18836c7e-2d97-6153-fe67-c18427bd0558 , abgerufen am 13.08.2025