



Handreichung – Satellitensysteme für die Breitband-Internetversorgung

Stand: 07.06.2021

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	II
1. Einführung	1
2. Grundlegende Satellitensystemtechnik	2
2.1 Geostationäre Satelliten	2
2.1.1 Rückkanalrealisierung bei geostationären Satelliten	4
2.1.2 Erhöhung der Downlink-Geschwindigkeit bei geostationären Satelliten	6
2.2 Satellitensysteme in erdnahe Umlaufbahn	7
2.2.1 Iridium-System	8
2.2.2 Leo-Satellitensysteme zur weltweiten Internetversorgung	9
3. Zusammenfassung und Fazit	12
4. Exkurs: Überblick über derzeit in Deutschland verfügbarer Angebote	14
5. Literaturverzeichnis	15

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Footprint eines Satelliten zur Versorgung von Nordafrika und Zentraleuropa (Quelle: SAT7UK).....	2
Abb. 2: Geostationärer Satellit (Quelle: www.easy-wetter.de)	3
Abb. 3: 1-Wege-Satellitenkommunikation für Internetzugang (Quelle: Wikipedia)	4
Abb. 4: DVB-RCS-Systeme (links Eutelsat, rechts skyDSL).....	5
Abb. 5: DVB-RCS-System für die Internet-Anbindung (Quelle: SES S.A.)	5
Abb. 6: Aufteilung des Footprint in einzelne Beams bei geostationären Satelliten rot eingezeichnet ist der Abdeckungsbereich (Quelle: Eutelsat)	6
Abb. 7: Vergleich von Spotbeam-Satelliten mit klassischen Direkt-Empfang-Satelliten, Quelle: Telenorsat	7
Abb. 8:Nutzung eines Iridium-Endgerätes, Quelle: Iridium	9
Abb. 9: Netzabdeckung des Iridium-Systems, Quelle: Iridium	9
Abb. 10: Satelliten-Konstellation des Starlink-Systems, Quelle: SpaceX.....	10
Abb. 11: Starlink-Antennensystem, [8].....	11
Abb. 12: Weltraumschrott in Erdnähe, Quelle: DLR	13
Abb. 13: Starlink-Satellitenkette in Tübingen (li.) und Italien (re.).....	13

1. Einführung

Mit dem erfolgreichen Start des ersten Satelliten „Sputnik“ durch die damalige Sowjetunion im Jahre 1957 begann die erfolgreiche Entwicklung von Satellitensystemen für unterschiedliche Anwendungsbereiche, wie z.B. die Meteorologie, die Kommunikation oder die militärische und zivile Aufklärung, [1]. In den 1960er-Jahren war man international davon überzeugt, dass die Satellitenkommunikation die leitungsgebundene Kommunikation insbesondere in den Telefon-Fernverbindungen z.B. bei transatlantischen Übertragungen ersetzen würde. Aufgrund der nahezu gleichzeitig erfolgten Entwicklungen zur Glasfaserübertragung richtete sich der leitungsgebundene Ausbau neu aus. Durch hochleistungsfähige Glasfaser-Seekabel-Übertragungstrecken wurde diese Anwendung der Satellitenübertragung eher zurückgedrängt, nicht zuletzt wegen der – im Folgenden noch näher beschriebenen – Verzögerungszeit der Übertragung, die die von leitungsgebundenen Wegen gewohnte (Telefon-)Kommunikation nicht ermöglichte.

Aufgrund der hohen Flexibilität der Satellitenkommunikation, der sehr schnellen Aufbauzeit von teilweise nur zeitlich befristet genutzten terrestrischen Sende- und Empfangsstationen auf mobilen Systemen und der nahezu weltweiten Verfügbarkeit ergaben sich ab den 1980er-Jahren neue Anwendungsbereiche. Hier ist u. a. der SNG – Bereich (Satellite News Gathering) im professionellen Umfeld sowie der (digitale) TV-Direktempfang durch den Endverbraucher im Massenmarkt zu nennen. Weitere Anwendungsbereiche ergeben sich z.B. bei der Schiffskommunikation oder der Kommunikation mit Flugzeugen.

SNG erlaubt auch eine von anderen, regionalen Infrastrukturen unabhängige Außenberichterstattung. Dieses ist insbesondere in politischen Krisengebieten sehr wichtig. Heute werden täglich weltweit tausende von SNG-Übertragungen durchgeführt, um live von Veranstaltungen oder wichtigen Ereignissen zu berichten. Die zeitlich befristete Nutzung von Satellitenübertragungstrecken mit „Erdsegment“ (d.h. Sende-/Empfangsstationen) und „Raumsegment“ (Satellitenkapazität) sind ein attraktives Geschäftsfeld für Satellitenbetreiber und Unternehmen, die Übertragungswagen vermieten, [2].

Der TV-Direktempfang erlaubte ab den 1980er-Jahren eine Internationalisierung der Fernsehverbreitung: Programme konnten nun von einem Ort z.B. europaweit angeboten werden. Die Systeme der SES Astra (Sitz in Luxemburg) und von Eutelsat (Sitz in Paris) können mit relativ kleinen Parabolantennen (ab 60 cm Durchmesser) empfangen werden. Die Digitalisierung dieser Übertragungswege ab Mitte der 1990er-Jahre führte zu einer Transformation der speziellen, technisch angepassten (TV-)Rundfunkverbreitung hin zu einer universellen, zunächst unidirektionalen Datenübertragung („Datenrundfunk“).

Eine weitere für den Endkunden wichtige Satellitenanwendung ist das GPS (Global Positioning System) welches heute u.a. für die Standortbestimmung, die Navigation und die logistische Nachverfolgung genutzt wird. Darauf wird in dieser Broschüre jedoch nicht weiter eingegangen.

Im Folgenden werden die Möglichkeiten der Nutzung von Satellitenübertragungswegen für die Internet-Versorgung dargestellt.

2. Grundlegende Satellitensystemtechnik

Kommunikations-, Fernmelde oder TV-Satellitensysteme sind generell „fliegende Richtfunkrelaisstellen“, die i.a. von der Erde gesendete Signale empfangen. Entsprechend ihrer Position und der Ausrichtungen ihrer Antennen werden die Signale wiederum auf die Erdoberfläche abgestrahlt; der dabei vom Satelliten erreichbare geographische Bereich trägt die Bezeichnung *footprint*. Beispiele hierfür zeigt Abb. 1.

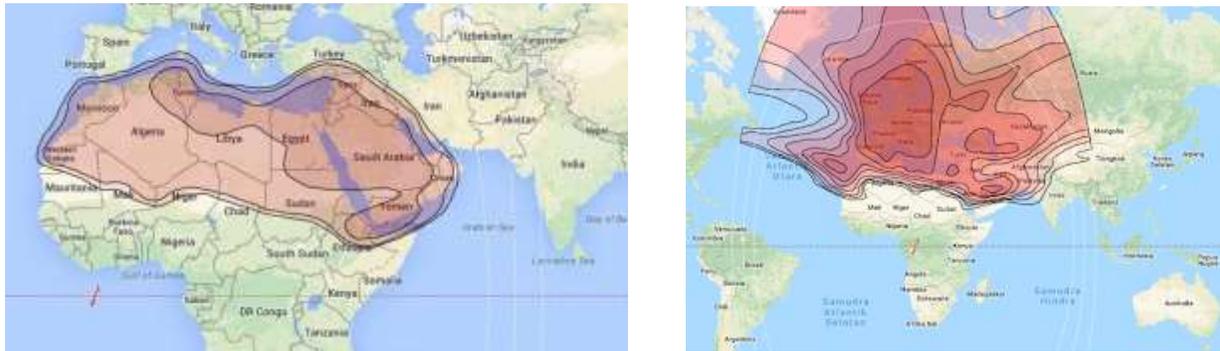


Abb. 1: Footprint eines Satelliten zur Versorgung von Nordafrika und Zentraleuropa (Quelle: SAT7UK)

Die Übertragungskanäle, die ein Satellit aufweist, werden *Transponder* genannt und haben – je nach Bauart des Satelliten – unterschiedliche Transpostkapazitäten (Bandbreite bzw. Datenrate). In einem Satelliten stehen i.a. mehrere Transponder zur Verfügung, die für die Übertragung genutzt werden können.

Für die Internetübertragung werden derzeit zwei grundlegend unterschiedliche Ansätze der Satellitenkommunikation verfolgt, die sich vor allem hinsichtlich der Position der Satelliten und deren erforderliche Anzahl zur Bereitstellung eines Internetzugangs unterscheiden:

- **Geostationäre Satelliten**, die an Positionen typischer Rundfunksatelliten stehen (z.B. 19,2°Ost),
- **Umlaufende Satelliten**, die ein Netz von fliegenden Basisstationen aufspannen, die neben der Kommunikation zur Erde, d.h. zum Nutzer auch eine Kommunikation untereinander zum Zwecke des erforderlichen handovers (s.u.) durchführen.

Beide Systeme und ihre spezifischen Eigenheiten werden nachfolgend vorgestellt.

2.1 Geostationäre Satelliten

Geostationäre Satelliten sind Satelliten, die sich auf einer Kreisbahn von ca. 36.000 Kilometer über dem Äquator befinden, Abb. 2. Sie folgen der Erdrotation, so dass sie für den Betrachter auf der Erdoberfläche still zu stehen scheinen, sich aber absolut mit ca. 3 km/s bewegen. Zu diesen Satelliten gehören auch die überwiegende Anzahl der Satelliten von SES S.A. und Eutelsat, [3].

Mit der Einführung der digitalen Übertragungstechnik nach DVB (Digital Video Broadcasting ab 1994, DVB-S und DVB-S2 ab 2005) und der Abschaltung der analogen Rundfunkübertragung über Satellit, konnte die Programmkapazität über Satellit deutlich erhöht werden. So können über

die Transponder, die analog nur 1 TV-Programm beinhalteten, nun mehr als 10 (HDTV) Programme übertragen werden. Gleichzeitig fiel der Preis für einen einzelnen Programmkanal bei europaweiter Satellitenverbreitung erheblich, so dass immer neue Programmanbieter diesen preiswerten Verbreitungsweg nutzen. SES betreibt international mehr als 40 geostationäre Satelliten; für den deutschen Sprachraum ist die Position $19,2^\circ$ Ost von besonderer Bedeutung. Eutelsat betreibt derzeit 39 Satelliten mit mehr als 5500 TV-Kanälen über 200 Millionen Haushalte in Europa (Stand: 2019), [4].

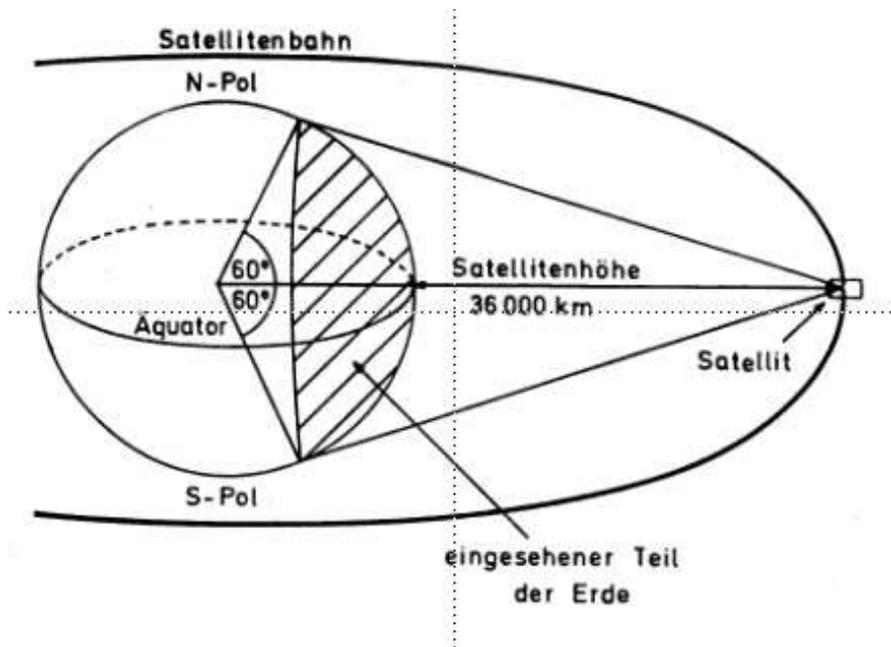


Abb. 2: Geostationärer Satellit (Quelle: www.easy-wetter.de)

Überschlagsmäßige Kapazitätsberechnung: Legt man eine typische Transportkapazität eines Satelliten (Gesamtbandbreite) von 4 GHz zugrunde, dann ergibt sich bei einer Transponderbandbreite von ca. 40 MHz eine Anzahl von 100 Transpondern ($100 \cdot 40\text{MHz} = 4\text{GHz}$). Jeder Transponder ist in der Lage ca. 60 Mbit/s zu transportieren, was ungefähr eine Gesamtdatenrate von ca. 8 (datenratenreduzierten) HDTV-Signalen entspricht. Somit wäre ein Satellit in der Lage, 800 HDTV-Kanäle zu übertragen. Aufgrund der hohen (digitalen) Gesamtkapazität wurden neue Dienstangebote wie Internet-Anbindungen über Satellit entwickelt.

Ursprünglich wurden die geostationären Satelliten lediglich für die digitale, unidirektionale Rundfunkverteilung genutzt. Beim Einsatz dieser geostationären Satelliten für die Internetversorgung mussten unterschiedliche Herausforderungen bewältigt werden, wie z.B.:

- Die Einrichtung des Rückkanals für die Internetanbindung sowie die Bereitstellung einer dafür erforderlichen möglichst preiswerten Technik,
- Die Bereitstellung einer akzeptablen Datenrate für den Anwender, das sich die übertragbare Datenrate eines Transponders bzw. des Satelliten auf die gesamte Ausleuchtzone (footprint) verteilt (shared medium).

Nutzungseinschränkungen: Aufgrund der großen Entfernung zwischen potenziellem Nutzer und Satellit von ca. 36.000 km ergibt sich eine erhebliche Kommunikationslaufzeit (Latenz). Trotz der

Ausbreitung von Radiowellen mit Lichtgeschwindigkeit ergibt sich eine ungefähre Laufzeit von 300 ms für den Weg zum Satelliten und zurück.

Bei bidirektionalen Kommunikationsanwendungen muss der Weg zweimal durchlaufen werden, so dass sich z.B. bei Telefonie rein durch den Übertragungsweg Verzögerungszeiten von 500 – 700 ms ergeben, die nicht durch technische Veränderungen reduziert werden können. Zum Vergleich: Die Latenzzeiten von xDSL-Systemen liegen bei 20 – 30 ms. Daher ist die Nutzung von *geostationären* Satellitensystemen für Internet-Anwendungen mit einer geringen geforderten Latenzzeit nur eingeschränkt möglich.

2.1.1 Rückkanalrealisierung bei geostationären Satelliten

Bis Mitte der 2010-Jahre wurden *1-Weg-Satellitensysteme* auch von Nutzern in Europa eingesetzt, Abb. 3. Dabei wird der Downlink über Satellit und der notwendige Up-Stream über terrestrische (Telefon-)Wege realisiert. Diese Systeme waren daher nur dort einsetzbar, wo mindestens eine Telefon-Infrastruktur (Festnetz oder Mobil) vorhanden war. Die Up-Stream Datenrate war dabei i.a. auf 128kbit/s beschränkt.

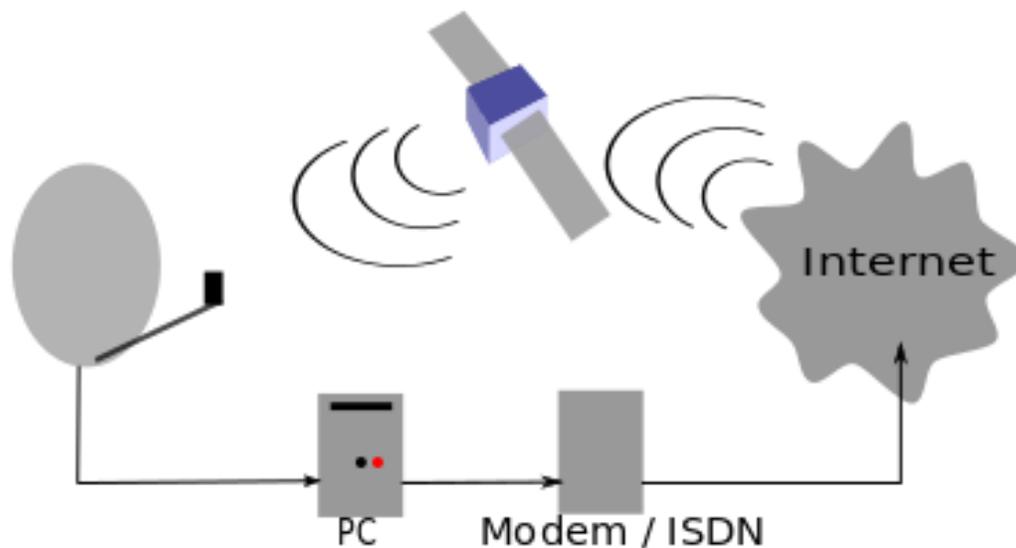


Abb. 3: 1-Wege-Satellitenkommunikation für Internetzugang (Quelle: Wikipedia)

Mit der weltweit höheren Verfügbarkeit von Mobilfunknetzen für die Datenübertragung (UMTS, LTE, 5G, ...) sowie dem fortschreitenden Ausbau der Festnetzinfrastruktur (xDSL, Kabel-TV-Netze, Glasfaser) reduzierte sich der Markt auf wenige spezielle Anwendungsbereiche.

Mit der Standardisierung von DVB-RCS (Return Channel via Satellite) wurde um das Jahr 2000 aufbauend auf dem DVB-System für den Downlink die Möglichkeit geschaffen, eine 2-Wege-Verbindung, d.h. auch den Uplink über Satellit für den Endkunden, anzubieten. Die Übertragung vom Satelliten (Downlink) erfolgt dabei kompatibel zu DVB-S bzw. DVB-S2 im KU-Band (11-14 GHz), der Uplink zum Satelliten über das KA-Band (20-30 GHz-Bereich). Es können dieselben Antennen für den TV-Empfang und den Internet-Zugang genutzt werden, die mit einer entsprechenden Rückkanaleinheit ergänzt werden, siehe Abb. Abb. 4.



Abb. 4: DVB-RCS-Systeme (links Eutelsat, rechts skyDSL)

Das Grundprinzip des Internet-Satellitenzugangs ist in Abb. 5 anhand der von SES Astra angebotenen Variante dargestellt.

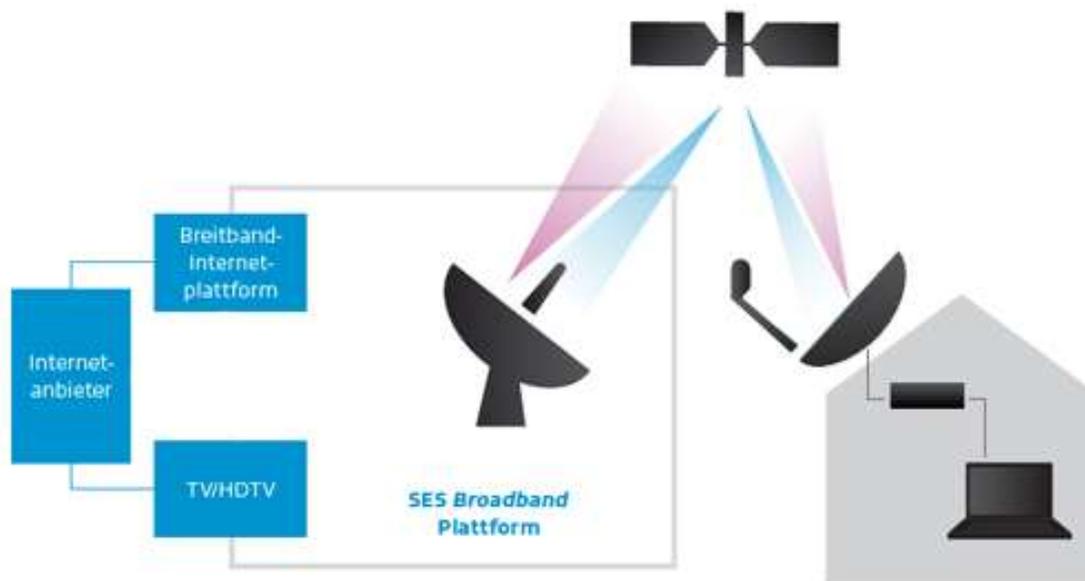


Abb. 5: DVB-RCS-System für die Internet-Anbindung (Quelle: SES S.A.)

International bieten aktuell über 20 Unternehmen weltweit 2-Wege-Kommunikationssysteme über Satellit an, die sich technisch in Details unterscheiden und für unterschiedliche Anwendungen genutzt werden. Die o.g. SNG-Anwendungen nutzen häufig die VSAT-Systeme (Very Small Aperture Terminal), die von verschiedenen Satellitenbetreibern z.B. Eutelsat (Gebiet: Europa, Nordafrika, Naher Osten), PanAmSat (Gebiet: Nord- und Südafrika, Europa) oder Intelsat unterstützt werden.

Der Vorteil ist die völlige Unabhängigkeit von anderen Infrastrukturen zur Realisierung einer Internetverbindung. Die von den Anbietern angebotenen Datenraten liegen derzeit für den Downlink bei bis zu 100 Mbit/s und bis zu 5 Mbit/s im Uplink für das Privatkundensegment, [5].

2.1.2 Erhöhung der Downlink-Geschwindigkeit bei geostationären Satelliten

Grundsätzlich überdecken geostationäre Satelliten mit Ihrem Footprint einen großen geografischen Bereich (s.o.) auf der Erdoberfläche und sind daher sehr gut für die kostengünstige Verbreitung von Rundfunksignalen an viele Teilnehmer geeignet. Doch genau hier zeigt sich auch eine Schwachstelle: Die Internet-Kommunikation ist eine bidirektionale Kommunikation, da die von einem Satelliten bzw. Satellitentransponder abgestrahlte Datenmenge sich auf alle Teilnehmer im Empfangsbereich aufteilt. Es handelt sich also um ein (ausgeprägtes) „Shared Medium“ mit potenziell hohem Aufteilungsfaktor: Je mehr Teilnehmer den Dienst in Anspruch nehmen, desto weniger Datenrate steht jedem Einzelnen im Mittel zur Verfügung. Dieses stellte bisher eine erhebliche Nutzungseinschränkung dar und ist darauf zurückzuführen, dass die geostationären Satellitentypen eben nicht für die Kommunikations- sondern die Rundfunk-Verbreitung optimiert waren.

Bei neuentwickelten Satelliten wurde dieser Anforderung Rechnung getragen. Eutelsat setzt z.B. unter dem Markennamen KONNECT nunmehr auf der Position 7° Ost einen Satellit ein, der eine Gesamtkapazität von 75 Gbit/s auf 65 sogenannte Spot-Beams verteilt, d.h. der Footprint der bisherigen Satellitenposition wird auf 65 einzelne, voneinander getrennte Beams verteilt, Abb. 6. Dadurch ergibt sich eine Verringerung der durch den einzelnen Beam zu versorgenden Erdoberfläche und damit eine höhere potenzielle Datenrate im Downlink für den Nutzer – der Aufteilungsfaktor wird geringer, [6].

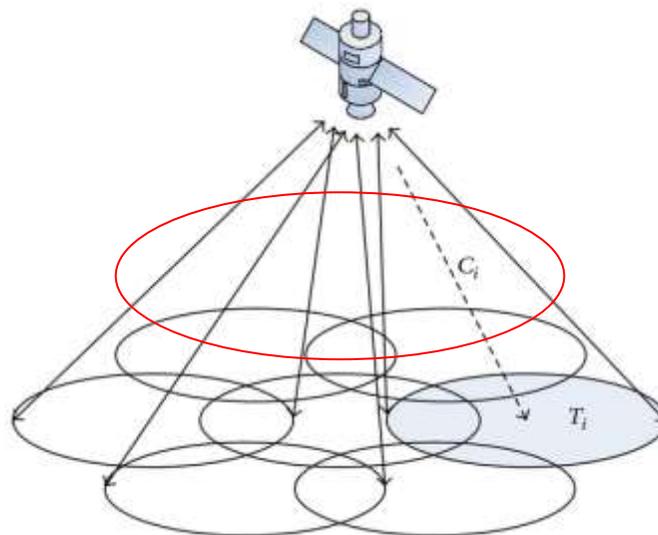


Abb. 6: Aufteilung des Footprint in einzelne Beams bei geostationären Satelliten
rot eingezeichnet ist der Abdeckungsbereich (Quelle: Eutelsat)

Diese Technologie wird von verschiedenen Satellitenbetreibern zur Verbesserung der angebotenen Dienstleistung verwendet. Bereits mit der Einführung von DirecTV in den USA 1994 für den digitalen Satellitendirekttempfang im TV-Rundfunk wurde dieses erfolgreich eingeführt, in diesem Fall, um die empfangbare Leistung zu erhöhen und den Empfang mit kleineren Antennendurchmessern zu ermöglichen. Satelliten dieser Bauart, die eine Aufteilung des Versorgungsbereichs

in eine Vielzahl von Unterbereichen ermöglichen, werden auch als High Throughput Satellites (HTS) bezeichnet, wie das Beispiel von Telenorsat in Abb. 7 zeigt.

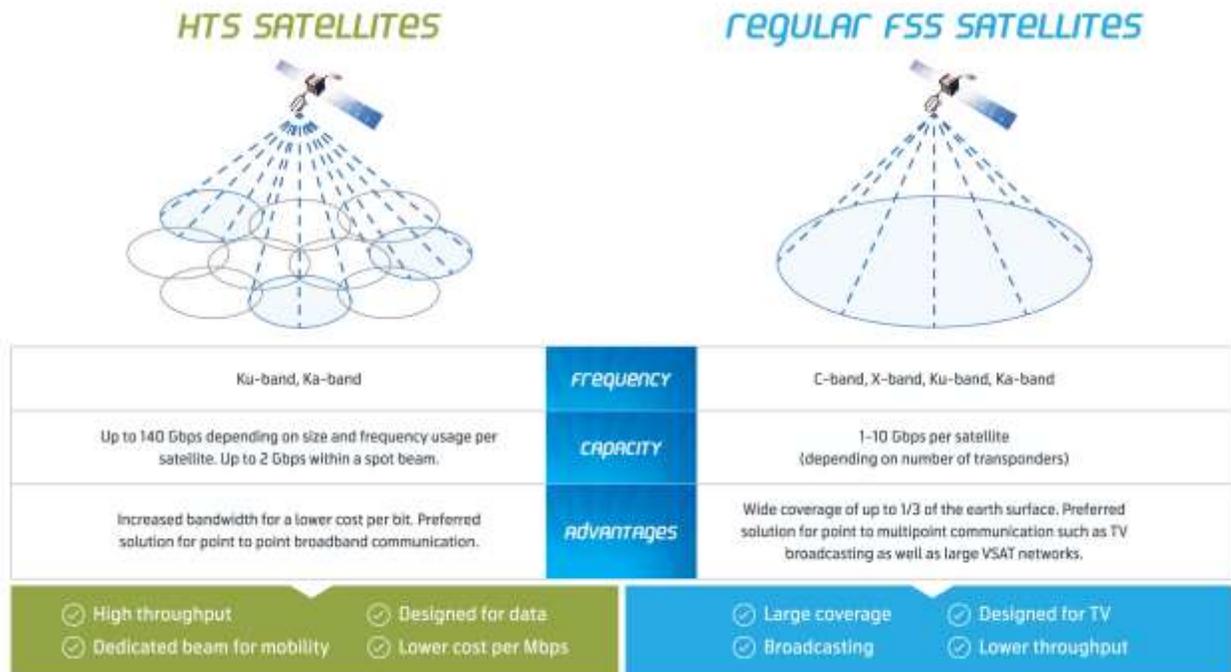


Abb. 7: Vergleich von Spotbeam-Satelliten mit klassischen Direkt-Empfang-Satelliten, Quelle: Telenorsat

Fazit: Mit der neuen geostationären Satellitengeneration, die speziell für die Datenkommunikation optimiert wurde, sowie der Verfügbarkeit preiswerter Endgerätelösungen wurde eine gute Möglichkeit geschaffen, Gebiete ans Internet anzubinden, die schwer oder nicht durch terrestrische Netze zu erschließen sind. Dieses gilt vor allem für typische Datenanwendungen (z.B. Internet-Surfen, Datentransfer, e-mail usw.) jedoch nur eingeschränkt für die Echtzeitkommunikation (z.B. Videokonferenz, Telefonie). Nicht geeignet sind derartige Systeme für Anwendungen mit einer erforderlichen sehr kurzen Reaktionszeit (z.B. interaktive Spiele oder Börsen bzw. Warentermin-geschäfte).

Zum Betrieb von geostationären Satelliten liegen jahrzehntelange Erfahrungen vor. Aufgrund der hohen Entfernung von der Erde unterliegen diese keinem wesentlichen Verschleiß durch die Restatmosphäre der Erde. Die Nutzungsdauer konnte in den letzten 40 Jahren von ca. 2 Jahren auf heute 12 – 15 Jahre erhöht werden. Ihr Austausch ist dabei häufig eher durch die Einführung einer neuen, leistungsfähigeren Satelliten-Generation bedingt.

2.2 Satellitensysteme in erdnaheer Umlaufbahn

Die Nachteile einer langen Umweglaufzeit geostationärer Satelliten entfällt nahezu beim Einsatz von Satelliten in erdnaheer Umlaufbahn – den Low Earth Orbit Satelliten (LEO). Hierzu zählen Satelliten, die die Erde in Höhen zwischen 200 km und 2000 km umkreisen. Sie fliegen deutlich schneller als die Erddrehung, um im Orbit zu bleiben und umrunden die Erde in ca. 100 Minuten, so dass der Kontakt zu einer Erdfunkstation pro Umlauf nur max. 15 min. beträgt, [7]. Der Bereich

LEO wird u.a. genutzt von der Internationalen Raumstation ISS, Spionagesatelliten, Wetter- und Erderkundungssatelliten, Amateurfunksatelliten und für Forschungs- und Erprobungssatelliten. Aufgrund des kurzen Kontaktes zwischen Erdfunkstation (z.B. einem Satelliten-Mobilfunkgerät) und dem Satelliten muss zwischen den Satelliten permanent eine Übergabe der Kommunikationsverbindungen (Hand-over) erfolgen, damit diese nicht abreißt. Dies ist vergleichbar mit der mobilen Kommunikation auf der Erde im Zug oder Auto: bei der Bewegung des Nutzers erfolgt ein überwiegend lückenloser Hand-over zwischen den Basisstationen. Bei LEO-Kommunikationssystemen bewegt sich der Nutzer ggf. gar nicht, jedoch die Basisstationen permanent auf der Erdumlaufbahn. Im Falle der Bewegung des Nutzers (z.B. Schiffs- oder Flugzeugkommunikation) kommt diese Bewegung noch hinzu, diese ist aber langsam im Vergleich zur Bewegung der Satelliten.

2.2.1 Iridium-System

Bereits Mitte der 1980er-Jahre wurde mit dem Iridium-System von Motorola ein satellitengestütztes, weltweites Kommunikationssystem konzipiert, entwickelt und 1998 in Betrieb genommen. Es besteht aus 66 Satelliten auf sechs Umlaufbahnen, zuzüglich Reserve-Satelliten pro Umlaufbahn, in ca. 750 km Höhe. Nach dem Konkurs des ersten Unternehmens wird das System heute von Boeing betrieben. 2018 gab es ca. 1 Mio. Abonnenten. Mehr als 50 % der Nutzung besteht in Datenanwendungen (Machine-to-Machine, z.B. zur Anbindung von Datenerfassungssystemen in der Arktis). Neben der Nutzung speziell im wissenschaftlichen Bereich, bei Expeditionen oder Extremsportarten (Atlantiküberquerungen im Ruderboot) ist das Militär ein weiterer Anwender, insbesondere bei Einsätzen im Ausland, bei denen nicht auf andere Infrastrukturen zurückgegriffen werden kann, Abb. 8.

Das System Iridium ist so konzipiert, dass bei einer freien Sicht zum Himmel von jedem Standort der Erde eine Kommunikation möglich ist. Allerdings kann der Iridium-Empfang teilweise ausfallen, da das Netzwerk sehr anfällig für Störungen der Sichtverbindung ist. Die generelle Netzabdeckung zeigt Abb. 9.

Auch wenn Iridium zur Datenübertragung an jeden Punkt der Erde geeignet ist, sind die übertragbaren Datenraten eher gering und liegen zwischen ca. 350 kbit/s und 1,4 Mbit/s. In den Jahren zwischen 2017 und 2019 erfolgte der erfolgreiche Austausch der Satelliten (Iridium Next). Seit Januar 2019 befinden sich 75 Satelliten in einer Erdumlaufbahn, neun davon in Reserve [7].



Abb. 8: Nutzung eines Iridium-Endgerätes, Quelle: Iridium

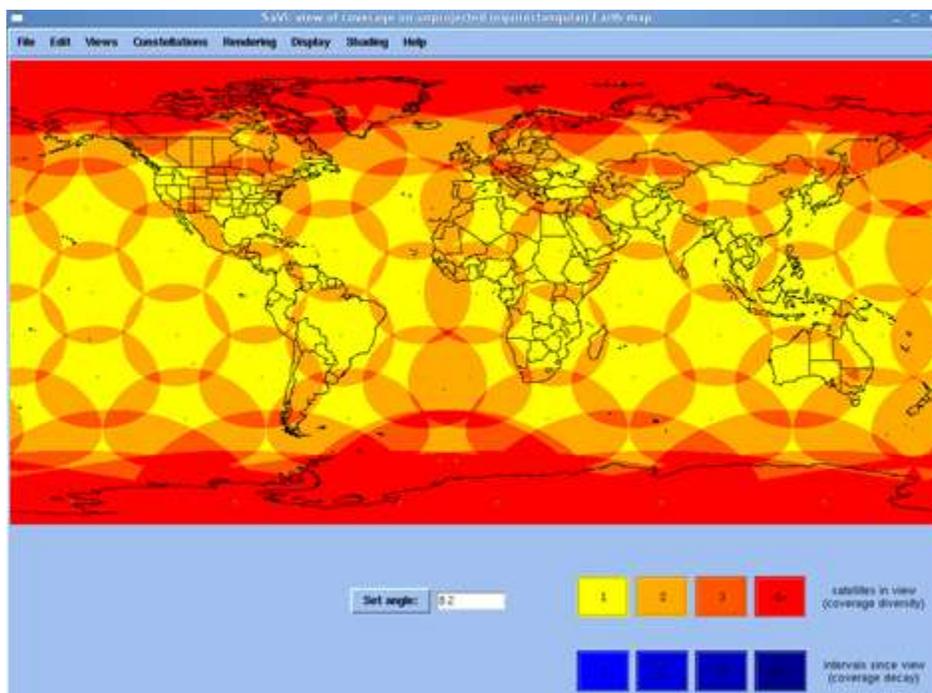


Abb. 9: Netzabdeckung des Iridium-Systems, Quelle: Iridium

2.2.2 Leo-Satellitensysteme zur weltweiten Internetversorgung

Die weltweite Internetversorgung über Satellit wird derzeit von verschiedenen Unternehmen als Geschäftsidee verfolgt. Durch eine erhebliche Erhöhung der Satellitenanzahl und damit eine höhere Satellitendichte kann die individuell nutzbare Datenrate maßgeblich erhöht werden. Zum Iridium-System ergeben sich daher deutliche Unterschiede:

- Wesentlich mehr Satelliten in der Umlaufbahn (einige Hundert bis einige Tausend),

- Leistungsfähigere Einzelsatelliten,
- Vielzahl von Orbitalebene und dadurch eine höhere Dichte an Satelliten.

Die 2012 gegründete Firma OneWeb (GB, USA) mit einem Netzwerk von zunächst 588 und später geplanten ca. 6300 Satelliten, musste im Jahr 2020 Insolvenz anmelden. Inzwischen konnten neue Finanzmittel akquiriert werden, so dass das Projekt zum Ende des Jahres 2020 wieder neu starten konnte. So sind bis Ende 2022 16 Starts mit jeweils bis zu 36 Satelliten geplant. Derzeit kann nicht abgeschätzt werden, ob dieses Projekt bis zur Markteinführung fortgesetzt werden kann.

Im Jahr 2002 erfolgte die Gründung des Unternehmens SpaceX durch Elon Musk, das sich privatwirtschaftlich intensiv mit der kommerziellen Nutzung der Raumfahrt befasst. Stand zunächst die Entwicklung von verschiedenen, u.a. wiederverwendbaren Raketensystemen und Raumschiffen im Vordergrund, wurde mit dem Projekt „Starlink“ auch die Iridium-Idee aufgegriffen und erheblich erweitert.

Ziel ist die Bereitstellung eines weltweiten, leistungsfähigen Internetzugangs. Mit derzeit 1377 Satelliten im Orbit ist SpaceX der weltweit größte Satellitenbetreiber. Die Anzahl soll noch wesentlich erhöht werden (11.927 Satelliten bis 2027). Mit Starlink steht dem Konzern dann eine von anderen Anbietern weitgehend unabhängige, direkte Kommunikationsplattform zur Verfügung, über die z.B. die ebenfalls im Konzern hergestellten Fahrzeuge der Fa. Tesla unmittelbar erreicht werden können, um diese mit individuellen Informationen zu versorgen.

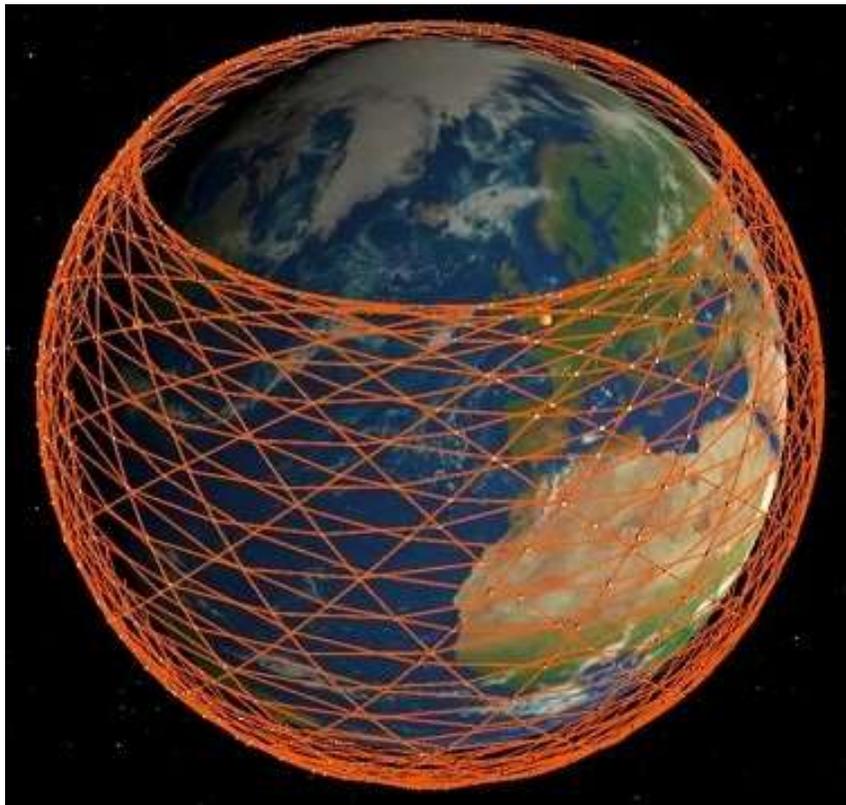


Abb. 10: Satelliten-Konstellation des Starlink-Systems, Quelle: SpaceX

Bei Starlink handelt es sich um ein LEO-System mit einer sehr hohen Dichte von Satelliten in einer Umlaufhöhe von ca. 550 km. Je 22 Satelliten auf 72 Bahnebenen ergeben 1584 Satelliten der ersten Ausbaustufe. In der Zukunft ist auch die Nutzung von geringeren Bahnhöhen ab 320 km geplant. Um die Vielzahl der Satelliten kostengünstig in die Umlaufbahn transportieren zu können, werden bis zu 400 Satelliten mit einer Rakete befördert. Erste Prototypen (Vorserienmodelle) wurden bereits 2019 platziert, sind aber überwiegend (planmäßig) wieder verglüht.

Im April 2020 begann die Beta-Erprobungsphase des Systems, insbesondere in den USA. Ende 2020 befanden sich 882 Starlink-Satelliten im Erdorbit. SpaceX geht von einer maximalen Nutzungsdauer von 5 Jahren für den einzelnen Satelliten aus, d.h. es ist eine ständige Erneuerung des Netzes erforderlich.



Abb. 11: Starlink-Antennensystem, [8]

Amerikanische und kanadische Teilnehmer am Betatest, die Empfangssysteme nach Abb. 11 verwendeten, berichten von Downlink-Datenraten von bis zu 150 Mbit/s und Uplink-Datenraten von bis zu 30 Mbit/s. Die Verzögerungszeit lag bei ca. 40 ms und damit im Bereich terrestrischer Verbindungen. Die Grundausstattung mit einer technisch aufwendigen Send- und Empfangsantenne kostet ca. 500 \$ (der vermutete Herstellungspreis liegt zwischen 1000 und 2000 \$), die Abonnementgebühren betragen 99 \$ pro Monat, bei einer Downlink-Datenrate von bis zu 50 Mbit/s und einer Uplink-Datenrate von bis zu 10 Mbit/s. Die Datenmenge ist dabei nicht begrenzt (Flatrate).

Trotz der hohen Satellitendichte und der Tatsache, dass ein einzelner Satellit nur wenige Minuten Verbindung zu einer Bodenstation hat, ist das System immer noch grundsätzlich ein Shared-Medium-System: Die individuelle Datenrate reduziert sich bei steigender Nutzerzahl in einem durch den einzelnen Satelliten abgedeckten geographischen Bereich. Die Gesamtkapazität liegt bei ca.

1 TBit/s (1000 Gbit/s) je 60 Satelliten. Eine wirtschaftliche Profitabilität erwartet SpaceX sofern ca. 1000 Satelliten in Betrieb sind. In Deutschland wurde mit der Starlink Germany GmbH die Betreiberfirma des Netzes in Deutschland gegründet. Für Nutzerterminals (Empfangsanlagen) und Gateways zum Internet erfolgten im Jahr 2019 für das Jahr 2020 durch die BNetzA Zuweisungen von Frequenzen für eine einjährige Evaluationsdauer.

Weitere Anbieter, die sich derzeit mit vergleichbaren Projekten beschäftigen sind Telesat (292 Satelliten) und Amazon (3236 Satelliten).

3. Zusammenfassung und Fazit

Die Internet-Versorgung über Satelliten kann einen wichtigen Beitrag für eine Versorgung terrestrisch nicht versorgbarer oder nachrangig ausgebauter (in der Regel dünn besiedelter) Gebiete sowie als Kommunikationseinrichtung im Katastrophenfall darstellen. Durch neue geostationäre Systeme können mit wenigen Satelliten große Bereiche kostengünstig versorgt werden. Es handelt sich um ein Shared-Medium mit nicht garantierter Datenrate im Up- und Downlink.¹

Die Nutzung ist auf Anwendungen mit geringen Ansprüchen an die Verzögerungszeit begrenzt, d.h. Videokonferenzen oder Telefonie-Anwendungen bedürfen einer systemtypischen Anpassung des Nutzungsverhaltens. Trotz der Einschränkungen können Satelliten-Dienste oft mehrjährigen Projekt- und Bauzeiten von Glasfaser-Infrastrukturen überbrücken.

Die derzeit in der Beta-Phase befindlichen LEO-Systeme stellen durchaus eine Alternative für eine allgemeine Nutzung auch für Anwendungen mit Anforderungen an eine kurze Reaktionszeit dar. Aufgrund der hohen Satellitenzahl sowie dem hohen Verschleiß in einer erdnahen Umlaufbahn ist der Aufbau und der Betrieb derartiger Netze teuer, was sich in höheren Endkundenpreisen im Vergleich zu den über terrestrische Netze oder über geostationäre Satelliten erbrachten Diensten bemerkbar macht und derzeit durch Quersubventionen insbesondere im Konzern von Elon Musk verdeckt wird. Gerade für die bereits gut ausgebauten Bereiche in Zentraleuropa ist das System ggf. eine Brückentechnologie für die Anbindung nachrangig versorgter Einzelgebiete. Von Starlink selbst angegebene Zielmärkte sind u.a. die dünn besiedelten Regionen in den USA und Kanada, wo der Aufbau von Mobilfunknetzen aufgrund fehlender Rentabilität nicht erfolgt und auch keine leistungsfähige Festnetzinfrastruktur existiert.

Weltweit sind die Leo-Systeme eher zur Erfüllung spezifischer Diensteanforderungen (z.B. für die Kommunikation zu den Tesla-Fahrzeugflotten) oder zur Überbrückung während des Aufbaus von Glasfaser- und leistungsfähigen Mobilfunknetze geeignet. Ferner können sie als Element der Kommunikation im Katastrophenfall oder beim Ausfall von terrestrischen Kommunikationsnetzen vorgehalten werden.

Allerdings stehen alle derartigen Systeme in einer berechtigten, internationalen Kritik:

¹ *Anm.:* Dieses gilt für die in diesen Ausführungen im Vordergrund stehende privaten Endkundenangebote. Für professionelle Nutzungen (z.B. weltweite Unternehmensnetze, Rundfunkstudioverbindungen) können selbstverständlich garantierte Bandbreiten bereitgestellt werden. Dieses gilt auch z.B. für datenraten-symmetrische, bidirektionale transatlantische Verbindungen und unterliegen einer völlig anderen Kostenstruktur.

- Die Vielzahl der Satelliten (mehrere Tausend) führen zu einer erhebliche „Vermüllung“ des Weltraums, was zukünftige wissenschaftliche Weltraum-Missionen z.B. bei deren erheblich beeinträchtigen bzw. gefährden kann, Abb. 12.



Abb. 12: Weltraumschrott in Erdnähe, Quelle: DLR

- Der energetische Aufwand zur dauerhaften Bereitstellung (u.a. Raketenstarts) und zum Betrieb des Netzes stehen im Widerspruch zum wichtigen „Green Deal of Telecommunication“, d.h. der Bereitstellung einer energetisch möglichst effizienten Telekommunikationsinfrastruktur, dem sich zu mindestens die EU verpflichtet fühlt.
- Durch Lichtreflektionen an den Satelliten ergeben sich Einschränkungen für Astronomen bei der Weltraumbeobachtung, Abb. 13.



Abb. 13: Starlink-Satellitenkette in Tübingen (li.) und Italien (re.)

- Die Vergabe der Lizenzen durch die FCC (Federal Communication Commission) wirft Fragen auf, inwieweit die Interessen anderer Staaten dabei Berücksichtigung finden. Ob diese Lizenzvergabe in Übereinstimmung mit der ITU (International Telecommunication Union) und dem internationalen Raumfahrtrecht rechtskonform erfolgt, ist zurzeit unklar.
- Aufgrund der „Internationalität“ dieser weltumspannenden Kommunikationssysteme ist die Frage einer internationalen Regulierung zu klären, da nationale Regulierungen nicht sinnvoll umsetzbar sind. Dieses gilt insbesondere für das Raumsegment (u.a. Satellitenpositionen und Umlaufbahnen), während das Erdsegment (z.B. Gateways) bereits jetzt den nationalen Regulierungsbehörden unterliegt.
- Es wird u.a. kritisiert, dass dies *„...Märkte sind, in den denen der first-mover-advantage und the winner-takes-it-all einen späteren Markteintritt oder auch Zugang zum erdnahen Raum auch für staatliche Organisationen äußerst schwierig gestalten könnte, [9].“*
- Dieser Haltung stehen allerdings die hohen Investitions- und Betriebskosten entgegen - "first-mover-risk", die bereits im Iridium-Projekt deutlich wurden.

Es bleibt festzuhalten, dass sich insbesondere Starlink in einer fortgeschrittenen Beta-Testphase befindet und vielversprechende weltumspannende Versorgungsqualitäten bei hohen Investitions- und Betriebskosten und derzeit noch höheren Preisen für den Nutzer aufweist. Mit einem zunehmenden Ausbau der terrestrischen Netze wird sich der Bedarf allerdings insbesondere in Europa auf Einzellagen und (sehr) dünn besiedelte Gebiete beschränken, die entsprechend nachrangig ausgebaut werden. Hier kann es als Brückentechnologie genutzt werden.

Ein kommerzieller Erfolg außerhalb der genannten Nutzung für das Management von Fahrzeugen ist daher eher fraglich und aufgrund der Kapitalkraft des Gesamtunternehmens „Musk“ derzeit nicht erforderlich. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass Starlink für den genannten Zweck umgesetzt wird – inwieweit in der höchsten Ausbaustufe ist abzuwarten, denn die ist für das Fahrzeugmanagement nicht erforderlich und vor allem abhängig von der Nachfrage nach derartigen Internet-Anbindungen für spezielle Versorgungsfälle (z.B. Outback, Wohnmobile usw.).

Das Vorhalten eines von terrestrischen Infrastrukturen unabhängigen Kommunikationssystems für den Fall eines Ausfalls vorhandener Infrastrukturen kann für staatliche Institutionen sinnvoll sein und den Business-Case eines Anbieters verbessern. Damit ergibt sich auch die Frage nach einer internationalen Satellitenkommunikationsnetzinfrastruktur als staatenübergreifenden Gemeinschaftsprojekt (Open Access International Satellite Infrastructure).

4. Exkurs: Überblick über derzeit in Deutschland verfügbarer Angebote

Der folgende Überblick stellt eine nicht vollständige Auswahl von Angeboten zu Satelliten-Internet-Diensten dar. Die genannten Angaben zu Leistungswerten und Konditionen stellen unverbindliche Richtwerte dar; verbindlich sind nur die Angaben der jeweiligen Anbieter auf ihren Internetseiten. In der Regel sind unterschiedliche Pakete mit Datenraten für Up- und Downlink, enthaltene Volumenkontingente und Vertragslaufzeiten verfügbar.

Bei allen aufgeführten Anbietern handelt es sich um geostationäre Satellitenbetreiber bzw. Reseller, die geostationäre Satellitensysteme nutzen. Es gelten die beschriebenen Anwendungseinschränkungen.

SkyDSL bietet als Reseller Dienste von Eutelsat mit Downstream-Datenraten von bis zu 50 Mbit/s an: Beispielangebot für bis zu 40 Mbit/s im Downstream und bis zu 2 Mbit/s im Upstream ohne Volumenbegrenzung und einer Telefonflatrate im Festnetz ohne Mindestvertragslaufzeit € 34,90 pro Monat zzgl. Hardware- und Einmalkosten.

StarDSL bietet als Reseller von Eutelsat Dienste im Bereich von 22 - 30 Mbit/s im Downstream an: Beispielangebot für bis zu 30 Mbit/s im Downstream und bis zu 6 Mbit/s im Upstream mit 60 GB Datenvolumen und 1 Monat Vertragslaufzeit für € 79,95 zzgl. Hardware- und Einmalkosten.

EUSANET nutzt ebenfalls Eutelsat und bietet Downstream-Datenraten von bis zu 50 Mbit/s an: Beispielangebot für bis zu 50 Mbit/s im Downstream und bis zu 6 Mbit/s im Upstream ohne Volumenbegrenzung und mit einem Monat Vertragslaufzeit für € 59,90 pro Monat zzgl. Hardware- und Einmalkosten.

Filiago bietet als Reseller von Astra2Connect Dienste mit Downstream-Datenraten von bis zu 50 Mbit/s an: Beispielangebot für bis zu 30 Mbit/s im Downstream und bis zu 2 Mbit/s im Upstream mit 50 GB Datenvolumen und optionalem Telefonangebot und 24 Monate Vertragslaufzeit für € 49,95 pro Monat zzgl. Hardware- und Einmalkosten.

Orbitcom bietet als Reseller von Astra2Connect Dienste mit Downstream-Datenraten von bis zu 20 Mbit/s an: Beispielangebot für bis zu 20 Mbit/s im Downstream und bis zu 2 Mbit/s im Upstream ohne Volumenbegrenzung mit optionalen Telefonangebot und flexibler Vertragslaufzeit für € 77,90 pro Monat zzgl. Hardwarekosten.

Novostream bietet über Astra2Connect Dienste mit Downstream-Datenraten mit bis zu 20 Mbit/s an: Beispielangebot für bis zu 20 Mbit/s im Downstream und bis zu 2 Mbit/s im Upstream und 50 GB Datenvolumen, 24 Monaten Vertragslaufzeit für € 59,90 zzgl. Hardware - und Einmalkosten.

5. Literaturverzeichnis

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Sputnik> Zugriff: 04/2021
- [2] Satellite Newsgathering, J. Higgins, Focal Press, 2007
- [3] Handbook of Geostationary Orbits, E. M. Soop Springer, 1994
- [4] <https://www.eutelsat.com/de/home.html> Zugriff: 04/2021
- [5] https://www.satsig.net/vsat_top.htm Zugriff: 04/2021
- [6] <https://europe.konnect.com/de-DE> Zugriff: 04/2021
- [7] <https://de.wikipedia.org/wiki/Iridium> Zugriff: 04/2021
- [8] <https://www.telesatellite.com/> Zugriff: 04/2021
- [9] StarLink – Disruption der globalen Breitbandkommunikation, G. Erber
<https://www.researchgate.net/publication/344433616> Zugriff: 04/2021

Herausgeber:

Kompetenzzentrum Gigabit.NRW
Postfach 10 54 44
40045 Düsseldorf
<http://gigabit.nrw.de/>

Das Kompetenzzentrum Gigabit.NRW ist Auftragnehmer des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen. Aufgabe und Ziel des Kompetenzzentrums Gigabit.NRW ist es, den Ausbau von zukunftsfähigen Breitbandnetzen in NRW nachhaltig voranzubringen. Das Kompetenzzentrum Gigabit.NRW soll dabei unterstützen, die Breitbandziele des Landes durch Vernetzung, Wissenstransfer sowie Informations- und Kommunikationsmaßnahmen zu erreichen.

Dieses Dokument ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Kompetenzzentrums Gigabit.NRW und wird vorbehaltlich aller Rechte ohne die Erhebung von Kosten abgegeben und ist nicht für den Verkauf bestimmt. Vervielfältigungen, Mikroverfilmung, die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Medien sind ohne Zustimmung des Herausgebers nicht gestattet.

Die Inhalte dieser Publikation sind zur grundlegenden Information für die am Thema „Eigenwirtschaftlicher Breitbandausbau durch Bürgerinitiativen“ Interessierte gedacht. Sie entsprechen dem Kenntnisstand der Autoren zum Zeitpunkt der Veröffentlichung und haben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Meinungsbeiträge geben die Auffassung einzelner Autoren bzw. Interviewter wieder. In den Grafiken kann es zu Rundungsdifferenzen kommen.

Autoren: Prof. Dr.-Ing. S. Breide, S. Helleberg, M.Eng. Institut für Breitband- und Medientechnik (I.BM.T)

Bezugsquelle:

Kompetenzzentrum Gigabit.NRW
Postfach 10 54 44, 40045 Düsseldorf
Telefon: +49 211/981-2345
Email: info@gigabit.nrw.de
Internet: <https://www.gigabit.nrw.de/>
Im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes NRW

Redaktion:

Kompetenzzentrum Gigabit.NRW

Stand: 07. Juni 2021

Gestaltung: Kompetenzzentrum Gigabit.NRW



Email: info@gigabit.nrw.de
Internet: <https://www.gigabit.nrw.de/>