

Die Rolle der Satellitenkommunikation beim Breitbandausbau

**Informationspapier des
DLR Raumfahrtmanagement**

Dr. Marc Hofmann
für die Abteilung Satellitenkommunikation



DLR

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

Dokumenteigenschaften

Titel	Die Rolle der Satellitenkommunikation beim Breitbandausbau
Verfasst im	DLR Raumfahrtmanagement, Abteilung Satellitenkommunikation
Erstellt von	Dr. Marc Hofmann
Weitere Autoren	Dr. Ralf Ewald, Dr. Frank Bensch, Dr. Roland Wattenbach
Stand	20.03.2020
Version	3.5
Kontakt	Marc.Hofmann@dlr.de

Die Autoren danken folgenden Personen für ihre Unterstützung: Patrick Lewis, Dr. Sandro Scalise, Prof. Andreas Knopp, Dr. Tomaso De Cola, Dr. Hermann Bischl, Dr. Florian David, Dr. Hendrik Fischer, Andreas Kriechbaumer, Philipp Weber

Hinweis

Dieses Dokument soll, unter Berücksichtigung aktueller Entwicklungen, die momentanen Fähigkeiten der Satellitenkommunikation im Feld der Breitbandkommunikation darstellen. Ziel ist es die mögliche Rolle der Satellitenkommunikation beim Breitbandausbau zu erläutern. **Das Dokument wird kontinuierlich ergänzt und erweitert.**

Inhaltsverzeichnis

- Dokumenteigenschaften 2**
- Überblick 4**
- 1. Systemkosten 5**
 - 1.1. Kosten für Anbindung über Satellit 5
 - 1.1.1. Nutzung vorhandener Satellitensysteme 5
 - 1.1.2. Neubeschaffung eines Satellitensystems 5
 - 1.2. Kosten Ausbau terrestrischer Infrastruktur 6
- 2. Verfügbarkeit 7**
 - 2.1. Derzeitige Satellitensysteme 7
 - 2.2. Geplante Satellitensysteme und Technologien 7
- 3. Latenz 8**
 - 3.1. Geostationäre Satellitensysteme 8
 - 3.2. Umlaufende Satellitensysteme (Konstellationen) 9
 - 3.3. Einordnung 9
 - 3.3.1. Sprachverbindungen 10
 - 3.3.2. Web-basierte Steuerung 11
 - 3.3.3. Websurfen und Video-Streaming 11
- 4. Datenrate 12**
 - 4.1. Breitbandbedarf 12
 - 4.2. Derzeitige Marktlage 12
 - 4.3. Zukünftige Entwicklung 13
 - 4.4. Quality of Service 13
- 5. Konkurrenzfähigkeit 15**
- 6. Französisches Schlusswort 16**
- 7. Begriffserklärungen 17**
- Literaturverzeichnis 18**
- Abkürzungsverzeichnis 19**

Überblick

Der Schritt in die digitale Gesellschaft oder Gigabit-Gesellschaft ist vielleicht die größte gesellschaftliche Revolution seit der Industrialisierung. Die Politik hat dem Breitbandausbau als Wegbereiter der Digitalisierung daher einen hohen Stellenwert zugewiesen.

Zum Erreichen der ehrgeizigen Ziele setzt die Bundesregierung ausschließlich auf den Glasfaserausbau. Um alle Menschen in Deutschland mit schnellem Internet zu versorgen, ist kurz- wie langfristig jedoch ein Technologiemix notwendig. Denn der Ausbau eines Glasfasernetzes bis in den letzten Haushalt ist sowohl vom finanziellen wie auch vom baulichen Aufwand her nicht realisierbar. Strukturschwache Regionen sind bereits heute, trotz Fördermaßnahmen, in einer schlechten Ausgangslage. Die Situation wird sich noch verschärfen, wenn um 2020 der Roll-Out für den neuen Mobilfunkstandard 5G beginnt.

In diesem Informationspapier soll daher die mögliche Rolle der Satellitenkommunikation im Breitbandausbau wie auch als Teil des kommenden 5G-Netzes beleuchtet werden.

Ein großer Vorteil der Satellitenanbindung ist die sofortige Verfügbarkeit. Geostationäre Satellitensysteme für Breitband-Internetanbindungen decken schon heute die gesamte deutsche Fläche ab. Der Aufbau der zum Empfang nötigen Hardware dauert nur wenig Tage. Daher könnten Satellitenbetreiber bereits heute ganze Gemeinden in Deutschland kurzfristig und mit bis zu 50 Mbit/s pro Anschluss anbinden – zu monatlichen Kosten zwischen 20 und 80 Euro.

Mit neuen Hochleistungssatelliten im geostationären Orbit wird die Leistungsfähigkeit noch weiter steigen. Die im Aufbau befindlichen Satellitenkonstellationen im niedrigen Erdorbit werden die Kapazitäten weiter erhöhen und Latenzzeiten auf mit terrestrischen Technologien vergleichbare Werte senken. So kann nicht nur der Latenz-unkritische Teil des Internet-Verkehrs, welcher jetzt schon 80% des Datenverkehrs ausmacht, über den Satelliten geleitet werden, sondern zukünftig auch Anwendungen mit strengeren Anforderungen an die Latenz.

In Deutschland gibt es bereits heute einige Ortschaften, die über Satellit mit dem Internet verbunden sind – teilweise als Überbrückung bis der Glasfaserausbau erfolgt. Es handelt sich dabei aber um Inselösungen. In Frankreich hingegen wird sehr viel technikoffener nach Lösungen gesucht. Der französische Staat investiert massiv in die Entwicklung von Satelliten-Infrastruktur und ermöglicht Kollaborationen zwischen Telekommunikationsfirmen der Raumfahrt- und der terrestrischen Branche: „(...) dieser Satellit [Konnect VHTS] erlaubt es (...), auch den entlegendsten Gemeinden einen Breitband-Internetanschluss zu bieten.“ [1].

Durch die hervorragende Flächenabdeckung und sichere Punkt-zu-Punkt-Verbindungen übernimmt der Satellit schon heute eine wichtige Rolle in der Kommunikations-Infrastruktur und kann terrestrische Systeme sinnvoll ergänzen – sowohl als komplementäre Technologie im Breitbandausbau wie auch als flexible Ergänzung für das 5G Netz. Neue Satelliten und Satellitenkonstellationen mit substantiell größerem Datendurchsatz lassen eine Kostenreduktion erwarten, welche die kommerzielle Attraktivität dieser Lösungen weiter steigert. Die Satellitenkommunikation wird sich beim Breitbandausbau auf Regionen konzentrieren, die für terrestrische Betreiber wirtschaftlich nicht im Fokus stehen. In 5G werden neue Technologien und Satellitensysteme das terrestrische Netz sehr gut ergänzen.

1. Systemkosten

1.1. Kosten für Anbindung über Satellit

1.1.1. Nutzung vorhandener Satellitensysteme

Bereits heute befinden sich geostationäre Satelliten im All, die in ganz Deutschland eine Anbindung an das Internet ermöglichen. Diese kann man nutzen, um ganze Kommunen an das Internet anzuschließen. Die Kosten zur Anbindung ergeben sich lediglich aus dem Aufbau der notwendigen Empfangs- und Sendetechnik vor Ort, der sog. Kopfstation. Diese Technik besteht aus:

- Eine oder mehrere Satellitenschüsseln von der Größe einer handelsüblichen TV-Parabolantenne
- Die zugehörige Signalverarbeitungselektronik
- Die Infrastruktur, um das Signal im Ort zu verbreiten¹

Eine Stromversorgung ist die einzige Voraussetzung für den Aufbau einer solchen Anlage. Die Kosten für den Aufbau einer Kopfstation belaufen sich auf etwa 25.000 Euro. Darin enthalten sind Installation und Aufbau sowie die Hardware zur Signalverteilung im Ort [2].

Monatliche Anschlusskosten für den Endnutzer liegen im Bereich zwischen 20 Euro und 80 Euro. Beispiele für aktuell verfügbaren Leistungen und Preise sind in Tabelle 1 aufgelistet.

1.1.2. Neubeschaffung eines Satellitensystems

Die Neubeschaffung eines geostationären Satelliten erzeugt stark unterschiedliche Kosten, je nach Ausstattung des Satelliten. Beispielhaft sei hier die Kostenabschätzung für den Missionsvorschlag „SatCom 2025“ dargestellt, ein Vorschlag für eine mögliche zukünftige große Mission. Diese wäre in der Lage ca. zwei Millionen Haushalte in Deutschland mit einer Datenrate von 50 Mbit/s und einer Servicequalität vergleichbar mit terrestrischen Angeboten zu versorgen. Ein solches Satellitensystem würde Kosten von **insgesamt ca. 335 Mio. Euro** verursachen. In diesen Kosten enthalten wären der Satellit, der Start und das Bodensegment. Hinzu kämen die Kosten für den Betrieb des Satelliten und für die Bereitstellung der Dienste.

Der Aufbau einer Satellitenkonstellation unterscheidet sich im Vergleich zu einem geostationären Satelliten. Die einzelnen Satelliten sind zwar kleiner und damit günstiger. Die Anzahl an Satelliten, die benötigt wird um einen Dienst anzubieten, ist aber höher. Je nach Flughöhe ist eine zwei bis dreistellige Anzahl erforderlich, um ein Gebiet kontinuierlich mit einem Dienst zu versorgen. Eine solche Konstellation erlaubt, unter bestimmten Voraussetzungen, eine globale Abdeckung. Die

¹ Häufig wird zur Signalverbreitung W-LAN benutzt. Diese Technik ist flexibel einsetzbar und kostengünstig. Es besteht aber auch die Möglichkeit das Signal in ein lokal vorhandenes Kabelnetz einzuspeisen. Dabei spielt es keine Rolle, welcher Art das Kabelnetz ist. Ein Beispiel: Die Gemeinde Sayda-Ullersdorf im Landkreis Mittelsachsen hat auf eigene Initiative ein lokales FTTH-Glasfasernetz aufgebaut. Dieses wurde aber nicht mit dem Kern-Netz des Infrastrukturbetreibers verbunden. Der eigenverantwortliche Ausbau wäre finanziell nicht tragbar gewesen. Der Anschluss an das Internet erfolgt hier über eine Satellitenanbindung.

Kosten für das Bodensegment steigen aufgrund der höheren Komplexität des Gesamtsystems. Zur Veranschaulichung stellen wir hier eine grobe Kostenkalkulation für eine Konstellation im Stil von OneWeb dar. Wir nehmen an, ein Satellit kostet 750.000 Euro. Bei einer Anzahl von 600 Satelliten ergeben sich **450 Mio. Euro Anschaffungskosten** für die Satelliten.² Hinzu kommen die Kosten für die Starts. Eine Ariane 5 kann 20 Satelliten pro Rakete transportieren und kostet etwa 150 Mio. Euro pro Start. Damit ergeben sich **4,5 Mrd. Euro Gesamt-Startkosten**. Der Finanzaufwand für ein Bodensegment ist schwer abzuschätzen und ist hier nicht kalkuliert. Ein Investment in Infrastruktur sollte aufgrund des bereits existierenden Marktes privatwirtschaftlich erfolgen. Projekte sollten aber auch im Rahmen der Förderprogramme des Bundes und der Länder durchführbar sein, da technologische Entwicklungen Verbesserungen der Dienste ermöglichen werden.

1.2. Kosten Ausbau terrestrischer Infrastruktur

Die oben angestellte Kostenschätzung soll nun, zur besseren Einordnung, mit den Kosten des terrestrischen Breitbandausbaus verglichen werden. Dafür sollen Ausbaurkosten und öffentliche Fördermittel für die Schaffung ein Glasfasernetz in alle deutschen Haushalte analysiert werden. Der Bund plant für den Ausbau der Gigabit-Netze 10 bis 12 Milliarden Euro zur Verfügung zu stellen. Breitbandausbauprojekte können durch Aufstockungen der Länder mit bis zu 100% der Kosten bezuschusst werden. Jede Gemeinde kann dabei pro Projekt maximal 30 Mio. Euro als Fördersumme vom Bund erhalten. Die Kosten für Planung und Beratung können mit bis zu 50.000 Euro gefördert werden [3, 4].

Die tatsächlichen Kosten für einen Ausbau der terrestrischen Infrastruktur können von Fall zu Fall stark variieren. Bei Verlegekosten von 30 – 80 Euro/Meter können schnell mittlere, zweistellige Millionenbeträge für ein Ausbauprojekt zustande kommen [5].³

Die geschätzten Ausbaurkosten für mindestens 50 Mbit/s in allen Haushalten variieren, je nach verwendetem Technologiemix. Bei Berücksichtigung aller verfügbaren terrestrischen Technologien (inkl. Glasfaser) benötigt der Ausbau ein Investitionsvolumen von ca. 20 Mrd. Euro. Dabei steigt das nötige Investitionsvolumen stark an, je geringer der Anteil der noch zu versorgenden Haushalte ist. Die Versorgung der letzten 5% der Haushalte macht 65% der Kosten aus [6].

Eine Versorgung aller Haushalte mit Glasfaser (FTTH) wird mit einem Investitionsvolumen von 68,7 Mrd. Euro veranschlagt. Hier liegt der Anteil für die letzten 5% der Haushalte bei geschätzten 40% der Gesamtkosten [7].

² Die Anzahl der nötigen Satelliten einer Konstellation hängt stark von ihrem Nutzen und ihrer Orbithöhe ab. Für Konstellationen im LEO werden von verschiedenen Firmen Stückzahlen von einigen Dutzend bis mehr als 10.000 genannt. OneWebs Konstellation soll 648 Satelliten umfassen.

³ Beispiel: Gemeinde Essenbach, Bayern

2. Verfügbarkeit

2.1. Derzeitige Satellitensysteme

Geostationäre Satellitensysteme für Breitband-Internetanbindungen decken schon heute die gesamte deutsche Fläche ab. Daher können Satellitenbetreiber Orte in Deutschland schnell anbinden, sollte das Land oder die Kommune es wünschen. Der Aufbau eines Empfangssystems wie in Kapitel 1.1.1 beschrieben dauert, je nach Komplexität, wenige Tage bis zu zwei Wochen [2, 8]. Der Anschluss für den Endkunden wird dann vom Satellitenbetreiber selbst oder von einem Vertragspartner angeboten. Grundsätzlich ist also eine schnelle Internetanbindung auch kurzfristig in ganz Deutschland realisierbar. Leistungsmerkmale bezüglich Latenzzeiten von geostationären Satelliten werden in Kapitel 3.1 beschrieben.

2.2. Geplante Satellitensysteme und Technologien

Bis 2021 werden weitere geostationäre Satelliten (z.B. HTS und flexible Nutzlasten) und Konstellationen (z.B. mPower von SES oder OneWeb) in Betrieb genommen. Diese werden die Leistungsfähigkeit von Satellitenübertragungen extrem verbessern. Zusammen mit neuen Technologien können so sehr hohe Datenraten bis zu 1 Gbit/s bei reduzierter Latenz (vgl. Kapitel 3.2) für ganz Deutschland verfügbar gemacht werden.⁴ Die Satellitenbetreiber prognostizieren, dass sich die Satelliten-Tarife denen für eine terrestrische Anbindung weiter annähern werden.

⁴ Ein Beispiel für solch neu neue Technologien ist MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Bei MIMO werden mehrere Verbindungen zwischen Sender und Empfänger aufgebaut, um so die Übertragungskapazität zu vervielfachen.

3. Latenz

Die Frage nach der Latenz nimmt häufig eine zentrale Rolle in der Diskussion um moderne Kommunikationsanwendungen ein.⁵ Ihr soll hier daher eine besonders ausführliche Betrachtung zugutekommen.

Die Latenz als „Antwortzeit“ (engl. *Round trip time*, RTT) setzt sich zusammen aus zwei Komponenten zusammen: zweimal die Laufzeit des Signals zwischen Sender und Empfänger (hin und zurück), sowie die gesamte Verarbeitungszeit des Signals.⁶ Die Verarbeitungszeit oder Processing-Zeit hängt von verschiedenen Parametern der verwendeten Technologie ab und kann stark variieren. Daher wird im Folgenden hauptsächlich auf Signallaufzeiten eingegangen. Die Processing-Zeit kann jedoch einen signifikanten Beitrag zur Latenzzeit haben – zum Beispiel wenn das Signal über viele Zwischenstationen vom Sender zum Empfänger weitergeleitet wird.

Auch bei terrestrischer, kabelgebundener Kommunikation setzt sich die Latenz aus Signallaufzeit und Processing-Zeit zusammen. In einer Glasfaser hat ein Signal eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von $5 \mu\text{s}/\text{km}$ – ein Signal von Berlin nach Washington D.C. und zurück (Kabellänge pro Richtung ca. 8000 km) hat somit eine Laufzeit ca. 80 ms. Mit Verarbeitungszeit kommt man auf eine Gesamtlatenz von ca. 95 ms [9].

In den folgenden Abschnitten wird gezeigt, dass nur ein geringer Teil der Privatkunden-Anwendungsfälle hohe Latenzanforderungen hat. Eine Anbindung von Gemeinden an das Internet über Satellit sollte also nicht an unbegründet hohen Latenzanforderungen scheitern.

3.1. Geostationäre Satellitensysteme

ITU-T Recommendation G.114 spezifiziert die One-Way-Übertragungszeit zu einem geostationären Satelliten mit 260 ms [10]. Folglich beträgt die Latenz bei einem geostationären Satelliten 520 ms plus Signalverarbeitungszeit. Diese Latenz ist ausreichend für die meisten Webanwendungen, wie Streaming, Datentransfer oder Surfen, welche über 80% des gesamten Internetverkehr ausmachen (siehe dazu auch Kapitel 3.3.3). Sie ist jedoch für Echtzeit-Anwendungen wie Online-Telefonie (*Voice over IP*, VoIP, vgl. Kapitel 3.3.1) oder Online-Gaming mitunter zu hoch.

Auf weite Strecken hat der geostationäre Satellit allerdings auch Vorteile gegenüber einer kabelgebundenen Übertragung. Da ein GEO-Satellit ein Drittel der Erdoberfläche „sieht“, kann ein Signal mit maximal zwei Zwischenstationen vom Sender zum Empfänger gelangen. Dadurch wird die Processing-Zeit minimiert, während die Latenz kabelgebundener Kommunikation auf langen Strecken unter der großen Anzahl Zwischenstationen leidet.

⁵ Latenz ist allgemein definiert als Zeit zwischen dem Absenden einer Anfrage und dem Eintreffen der Antwort.

⁶ Mit Verarbeitungszeit ist die Zeit gemeint, die die Hardware braucht, um das Signal zu interpretieren und darauf zu reagieren. Bei einer realen Anfrage, z.B. an einen Webserver beim Surfen, sind zusätzliche Schritte erforderlich, die eine Antwort weiter verzögern können. Da diese aber von der konkreten Anfrage abhängen, sollen sie hier nicht berücksichtigt werden.

3.2. Umlaufende Satellitensysteme (Konstellationen)

Die Signallaufzeit zum/vom Satelliten hängt von seiner Flughöhe ab und ist daher bei Satellitenkonstellationen variabel. Abbildung 1 zeigt die Latenz verschiedener Satellitenkonstellationen in Abhängigkeit von ihrer Flughöhe im Vergleich zu den mittleren Latenzzeiten aus dem Mobilfunkbereich.

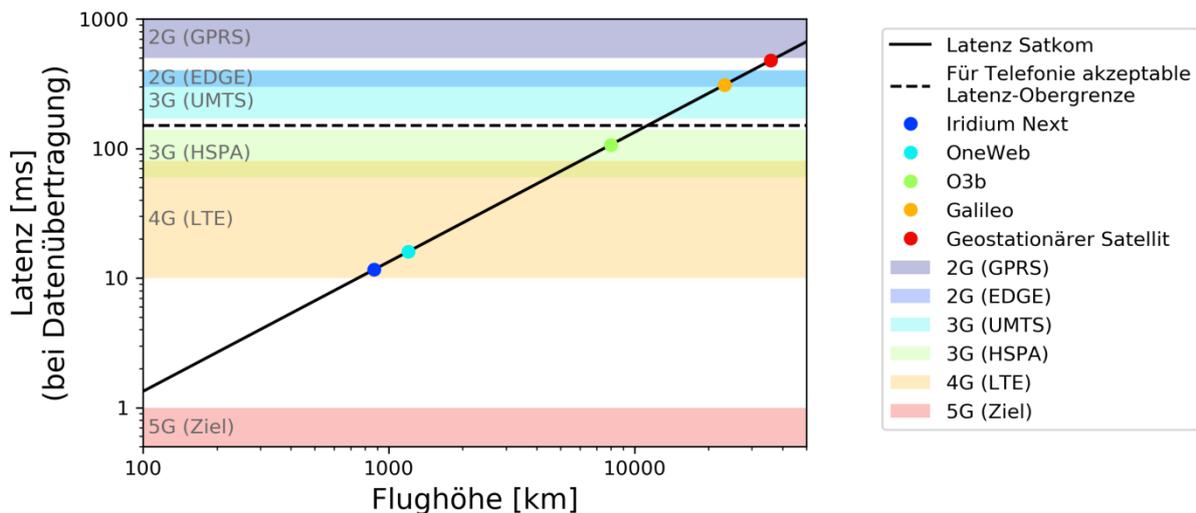


Abbildung 1: Signallaufzeit vom Sender zum Empfänger bei Satellitenkommunikation in Abhängigkeit von der Flughöhe. Punkte stellen die Signallaufzeit zu bestimmten Satellitenkonstellationen (ohne Processing Zeit) dar. Farbige markierte Flächen geben den Latenzbereich bei Datenübertragung in gängigen Mobilfunktechnologien an.

3.3. Einordnung

Abbildung 1 zeigt, dass die Signallaufzeit zu LEO und MEO Konstellationen vergleichbar ist mit der durchschnittlich gemessenen Latenz heutiger Mobilfunktechnologien. Diese Laufzeiten sind unabhängig von der Position der kommunizierenden Parteien, solange sie im Footprint desselben Satelliten sind.⁷ Um größere Distanzen zu überbrücken, müssen die Satelliten in der Lage sein, miteinander zu kommunizieren.⁸ Dies ist nicht bei allen Konstellationen der Fall. So hat die erste Generation der OneWeb Satellitenkonstellation keine ISL. Ein Beispiel für eine Konstellation mit ISL ist Iridium NEXT.

⁷ Der *Footprint* eines Satelliten ist der von seinem Signal ausgeleuchtete Bereich. Im Fall von umlaufenden Satelliten ist das der Teil der Erdoberfläche, von dem aus der Satellit hinreichend hoch über dem Horizont zu sehen ist. Geostationäre Satelliten haben entweder einen individuell geformten Reflektor, der nur vorbestimmte Gebiete ausleuchtet. Oder sie haben sog. Spotbeams, bei denen das ausgeleuchtete Gebiet noch in eine größere Anzahl kleinerer Ausleuchtbereiche unterteilt ist.

⁸ Die Kommunikation zwischen Satelliten wird mittels *inter-satellite links* (ISL) durchgeführt.

Die für 5G angedachte Latenz von unter 1 ms ist für Kommunikation über Satelliten nicht erreichbar.⁹ Der Satellit kann jedoch beim Erreichen dieses hochgesteckten Zieles unterstützen. Denn auch für terrestrische Kommunikation muss sich erst noch zeigen, welche Technologien diese Latenz liefern können und welche Anwendungsfälle diese auch tatsächlich benötigen (z.B. *car-to-car*-Kommunikation beim autonomen Fahren). Eine terrestrische Realisation von Latenzen im Millisekunden Bereich ist nur durch sog. *Edge Computing* möglich.¹⁰ Diese Lösung ist aber mit hohem technischem und finanziellem Aufwand verbunden und wird deswegen nicht kurzfristig oder flächendeckend eingesetzt werden.

Für einige Anwendungen sind auch höhere Latenzzeiten akzeptabel, welche von Satellitenkonstellationen eingehalten werden. Viele Anwendungen sind gänzlich latenz-unkritisch. Diese können somit auch von geostationären Satelliten bedient werden. Für einige Beispiele soll deren Latenz(un)abhängigkeit illustriert werden.

3.3.1. Sprachverbindungen

Referenzwerte für akzeptable Verzögerungen bei Internettelefonie (VoIP) werden in der ITU-T Recommendation G.114 festgelegt [10]. Als Richtwert für Verbindungen über Distanzen unter 5000 km gelten 150 ms, für Distanzen über 5000 km 225 - 300 ms. Die angegebenen Zeit sind „Mund zu Ohr“, d.h. inklusive sämtlicher Verarbeitungszeiten. Dies entspricht Signallaufzeiten von 100 – 150 ms. Für das menschliche Empfinden sind Verzögerungen bis etwa 70 ms kein Problem.

Die o.g. ITU Empfehlung beinhaltet auch eine für Netzwerkplanungszwecke geltende Obergrenze von 400 ms. Diese darf nur in definierten Ausnahmesituationen gerissen werden.¹¹ Soll der eigene Anwendungsfall in der Netzwerkplanung nicht von vorneherein als Ausnahmefall gelten, muss man unterhalb der 400 ms Latenz bleiben.

Telefonieanwendungen sind über einen geostationären Satelliten daher für den Endkunden zwar gewöhnungsbedürftig aber grundsätzlich akzeptabel. Der parallele Betrieb einer Datenanbindung via Satellit und einer Sprachanbindung via terrestrischer Kupferleitung ist prinzipiell eine machbare, wenn auch vom Kostenpunkt wenig wünschenswerte Lösung für Kunden mit hohen QoS-Ansprüchen an den Sprachanschluss.

⁹ 1 ms Signallaufzeit entspricht einer Entfernung von 300 km bei Signalausbreitung mit Lichtgeschwindigkeit. Auf Distanzen > 300 km sind Latenzen von 1 ms physikalisch unmöglich.

¹⁰ *Edge Computing* ist die Verlagerung von Rechenkapazität an den Rand des Netzes, d.h. in den Mobilfunkmast.

¹¹ Zitat aus *Recommendation G.114*: „Während Verzögerungen von mehr als 400 ms für die allgemeine Netzwerkplanung nicht akzeptabel sind, so wird doch anerkannt, dass dieses Limit in bestimmten Ausnahmefällen überschritten wird. Ein Beispiel hierfür ist die Umleitung eines Signals über zwei Satelliten, um eine schwer erreichbare Position zu verbinden [...]“ („*While delays above 400 ms are unacceptable for general network planning purposes, it is recognized that in some exceptional cases this limit will be exceeded. An example of such an exception is an unavoidable double satellite hop for a hard-to-reach location [...]*“) [9].

3.3.2. Web-basierte Steuerung

Der Bereich web-basierter Steuerungssysteme ist sehr umfassend. Daher können, je nach konkreter Anwendung, Latenzen zwischen 30 und 300 ms akzeptabel sein. Entscheidend ist hier, wie schnell die Reaktion auf das gesendete Signal erfolgen muss.

Bei Echtzeit-Computerspielen (z.B. sog. *Ego-Shootern*) sind schnelle Reaktionen notwendig. Hierfür sind Latenzen bis 200 ms akzeptabel – für eine optimale Spielerfahrung sind jedoch Latenzen unter 30 ms wünschenswert.

Börsenanwendungen wie z.B. der Hochfrequenzhandel ist eine im Latenzbereich hochkritische Anwendung. Die dortigen Aktionen finden jedoch im Mikrosekundenbereich statt ($< 40 \mu\text{s}$), so dass selbst die zukünftigen 5G-Netze dort keine Rolle spielen werden.

3.3.3. Websurfen und Video-Streaming

Für Websurfen allgemein sind die Latenzanforderungen minimal. Dort sind die Downloadrate und die Reaktionszeit des aufgerufenen Servers häufig die dominanten Faktoren. Lediglich VPN-Tunnel zur Telearbeit sind bei zu hohen Latenzzeiten nur eingeschränkt nutzbar. Hierzu werden aber schon Verfahren zur intelligenten Nutzung von terrestrischen und Satellitenanbindungen gemeinsam entwickelt.

Im Fall der reinen Datenübertragung ist die Latenz gänzlich vernachlässigbar, z.B. bei *Video-Streaming* und *File Sharing*. Diesem Anwendungsfall kommt besondere Bedeutung zu, da hierauf im Jahr 2016 bereits 81% des gesamten Internetverkehrs von Privatnutzern entfiel. Für das Jahr 2021 wird eine Steigerung auf 85% erwartet. Die Sprachübertragung nimmt weitere ca. 10% der Nutzung in Anspruch [11].

Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass nur ein geringer Teil von max. 5% der Anwendungsfälle hohe Latenzanforderungen hat. Eine Anbindung von Gemeinden an das Internet über Satellit sollte also nicht aufgrund unnötig hoher Latenzanforderungen unterbleiben.

Werden unnötig hohe Anforderungen an das gesamte zukünftige Netz gestellt, birgt dies die Gefahr, dass die Netze überdimensioniert werden und somit die Kosten unverhältnismäßig steigen. In solchen Fällen wird sich der privatwirtschaftliche Ausbau auf die profitabelsten Regionen beschränken – unterversorgte Regionen blieben abgehängt. Ein dogmatisches Festhalten an Latenzanforderungen wird daher weder den Anwendungen noch den Anwendern gerecht. Es steht dem Ziel einer schnellstmöglichen, flächendeckenden Breitbandversorgung im Weg.

4. Datenrate

Bis vor Kurzem war es das Ziel der Bundesregierung, noch im Jahr 2018 für jeden Bürger einen Internetanschluss mit 50 Mbit/s zur Verfügung zu stellen. Für den Zeitraum bis 2025 soll nun 1 Gbit/s erreicht werden, um die „Gigabitgesellschaft“ Realität werden zu lassen. Auf Europäischer Ebene wurden als Ziele gesetzt, bis 2020 alle Haushalte mit mindestens 30 Mbit/s und 50% der Haushalte mit 100 Mbit/s zu versorgen [12].

Ende 2018 hatten nur etwa 87% der deutschen Haushalte leitungsgebundenen Zugang zu Breitbandinternet mit mehr als 50 Mbit/s [13].¹² Eine vollständige Versorgung bis Ende 2018 konnte somit also nicht realisiert werden.

Eine Anbindung über Satellit kann helfen, einen Teil dieser Versorgungslücke zu schließen.

4.1. Breitbandbedarf

Zunächst soll eingeordnet werden, welche Bandbreiten für welche Nutzeranwendungen notwendig und ausreichend sind.

Für normales Websurfen reichen in der Regel 2 Mbit/s.¹³ Da Webseitenbetreiber aber zunehmend auf datenintensive Netzauftritte setzen, entspricht das auch der vertretbaren Untergrenze. Ab 10 Mbit/s kann man ohne Probleme surfen und sogar HD-Inhalte streamen. Ab 20 Mbit/s erreicht man die Grenze dessen, was ein Web-Browser auf einem durchschnittlicher Computer in Echtzeit berechnen kann. Damit ist man auch in der Lage UHD-Inhalte ruckel-frei wiederzugeben. Bandbreiten über 20 Mbit/s machen sich nur beim Transfer großer Datenmengen bemerkbar. Sie sind somit hauptsächlich für Business-Anwender oder Familien mit erhöhter Streaming-Nachfrage interessant.

4.2. Derzeitige Marktlage

Im Bereich Satelliteninternet sind für Endverbraucher derzeit folgende Datenraten üblich: im Download 20 – 50 Mbit/s, im Upload 2 – 6 Mbit/s. Einige Anbieter haben für Business-Kunden spezielle Tarife mit höheren Geschwindigkeiten und höherer Priorisierung. Bei Satelliteninternet ist, wie beim Mobilfunk auch, eine Begrenzung des Datenvolumens üblich (siehe dazu auch Kapitel 4.4). Bei Internet über Satellit zahlt man 1 – 3 Euro pro Gigabyte Datenvolumen und ist somit teilweise günstiger als Internet via Mobilfunk, wo die Gigabyte Preise im Bereich 2 – 15 Euro liegen [14].

Details zu beispielhaften Angeboten für Privatkunden sind in Tabelle 1 aufgelistet. In einigen Tarifen sind keine Telefonie-Services enthalten und müssten kostenpflichtig hinzugebucht werden.

¹² Dabei ist anzumerken, dass die tatsächlich erreichte Übertragungsgeschwindigkeit nicht immer bei den vertraglich vereinbarten Downloadraten liegt. Im Schnitt erreichen nur 12% der Nutzer die volle Geschwindigkeit ihres Anschlusses, während rund 28% nicht einmal die Hälfte der vertraglich vereinbarten Bandbreite erhalten [18].

¹³ 2 Mbit/s ist auch der Grenzwert für „basic broadband“ nach EU Vorgabe.

Anbieter	Download [Mbit/s]	Upload [Mbit/s]	Datenvolumen [GB]	Kosten [Euro/Monat]
Filiago (filiago.de)	50	2	Unbegrenzt	69,95
	30	2	20	24,95
Sat Internet Services (satinternet.com)	50	6	Unbegrenzt	59,90
	30	6	Unbegrenzt	39,90
SkyDSL (skydsl.eu)	50	6	Unbegrenzt	39,80
	10	1	10	19,90
EUSANET (eusanet.de)	50	6	Unbegrenzt	59,90
	25	2	10	29,90

Tabelle 1: Tarifbeispiele für Internet via Satellit für Privatkunden (Stand: 20.03.2020).

4.3. Zukünftige Entwicklung

Alle Satellitenbetreiber wollen in näherer Zukunft neue, leistungsfähigere Satelliten ins All bringen. Dabei gibt es sowohl bei den geostationären Satelliten, wie auch bei umlaufenden Systemen (Konstellationen) Neuerungen.

Im geostationären Orbit werden sog. *High Throughput* (HTS) und *Very High Throughput* Satelliten (VHTS) gestartet. Diese haben, gegenüber älteren Satelliten, einen deutlich höheren Gesamtdatendurchsatz von bis zu 1000 Gbit/s. Sie werden von den Betreibern mit einer Geschwindigkeit von 100 Mbit/s für den Endnutzer beworben. Über die Anzahl der möglichen Endnutzer eines solchen Satelliten sind jedoch keine öffentlichen Informationen erhältlich.

Neue (Mega-)Konstellationen in niedrigem (LEO) und mittleren (MEO) Erdorbit sollen sogar noch höhere Datenraten liefern. Die Konstellation O3b mPower soll nach dem Start ab 2021 global mehrere Tbit/s an Durchsatz liefern.

4.4. Quality of Service

Die Anbindung von Endnutzern an das Internet über Satellit unterliegt, wie auch bei terrestrischer Anbindung, bestimmten Beschränkungen. Jeder Satellit und jedes Kabel kann nur eine maximale Gesamtdatenrate transportieren. Ist dieses Limit erreicht, sinkt die Datenrate für den einzelnen Teilnehmer ab. So kommt es in Zeiten hoher Nachfrage (abends und am Wochenende) dazu, dass die tatsächlich erreichten Downloadgeschwindigkeiten bei allen Anschlusstechnologien abfallen, zum Teil bis auf 50% der vertraglich vereinbarten Maximalgeschwindigkeit.¹⁴ Wie dieser Zustand verwaltet wird, ist die Entscheidung der einzelnen Unternehmen.

¹⁴ Die Telekommunikationsfirmen sind gesetzlich verpflichtet zu jedem Zeitpunkt mindestens 50% der vertraglich zugesicherten Downloadgeschwindigkeit zur Verfügung zu stellen.

Viele Anbieter von Satelliteninternet moderieren die Nutzung der Zugänge über Datenvolumen-Begrenzungen. Werden bestimmte Grenzwerte für heruntergeladenes Datenvolumen überschritten, drosseln diese Anbieter die Geschwindigkeit des Anschluss bis zum Ende des aktuellen Abrechnungszeitraums (i.d.R. ein Monat). Häufig gibt es im Gegenzug Zeitfenster, meist nachts, in denen der Datenverbrauch nicht auf das zur Verfügung gestellt Datenvolumen angerechnet wird. Des Weiteren bieten die meisten Firmen auch Tarife ohne Volumenbeschränkungen (Flatrates) an. Anbieter von Satelliteninternet weisen explizit auf dieses *Best Effort*-Verfahren (Begrenzte zur Verfügung stehende Gesamtbandbreite) bzw. eine *Fair Use*-Policy (Drosselung der Geschwindigkeit bei zu hohem Verbrauch) hin. Sie bieten für Business-Kunden häufig einen Tarif mit höherer Priorisierung an und gewährleisten so eine vereinbarte Servicequalität.

5. Konkurrenzfähigkeit

Bereits heute kann der Satellit durch seine vollständige Flächenabdeckung und sichere Punkt-zu-Punkt-Verbindungen einen wichtigen Beitrag zur Kommunikationsinfrastruktur leisten – und dabei die terrestrischen Systeme sinnvoll ergänzen.

In den nächsten Jahren werden neue Satelliten und Konstellationen die Fähigkeiten und Kapazitäten der Satelliteninternet-Anbieter weiter erhöhen. Damit einhergehen werden Kosten- und somit auch Preisreduktionen. Dadurch steigt die Attraktivität der Angebote und die Hauptkritikpunkte werden abgeschwächt. Die Satellitenkommunikation wird so im Gesamtbild der Kommunikationsinfrastruktur an Bedeutung gewinnen.

Das Potenzial von Satellitenkommunikation wird derzeit leider nicht voll ausgeschöpft. Das Ziel ist, sie zu einer (auch politisch) anerkannten Komplementärtechnologie auf dem Feld der Breitbandanschlüsse wachsen wird. Hier wird insbesondere das Erschließen der „Weißen Flecken“ auf der Landkarte der Breitbandanschlüsse im Fokus stehen. Doch auch Backup-Systeme, z.B. für Firmenstandorte, und das Einflechten in die kommende Mobilfunk-Infrastruktur sind angestrebte Anwendungsfelder.

6. Französisches Schlusswort

Auf der „*Conférence nationale des Territoires*“ (17.07.2017) hat der französische Präsident Emmanuel Macron den neuen „*Plan France Très Haut Débit*“ (Französischer Hochgeschwindigkeits-Breitband-Plan) für Frankreich erläutert. Darin kündigt er an, dass er die vollständige Versorgung aller französischen Haushalte mit schnellem oder sehr schnellem Internet (> 30 Mbit/s, folgend der Definition der Europäischen Kommission) nicht erst 2022, sondern schon 2020 erreichen will. Das erklärte französische Ziel ist dabei 80% aller Haushalte mit einem Glasfaseranschluss (FTTH) zu versorgen und die verbleibenden 20% über komplementäre Versorgungswege anzubinden. Diese Glasfaser-Alternativen beinhalten explizit auch die Anbindung über Satellit.

Zu diesem Zweck investierte Frankreich bisher 70 Mio. Euro an Technologieentwicklung im nationalen Raumfahrtprogramm und im Programm für Zukunftsinvestitionen (PIA) in die Entwicklung eines neuen VHTS („*ThD-SAT*“) zur Anbindung von unterversorgten Gebieten an das Internet [15, 16]. Gleichzeitig wurde durch massive Vermittlung des französischen Staates vom französischen Betreiber Eutelsat, in Kollaboration mit dem Telekommunikationsunternehmen Orange, ein Satellit bei Thales Alenia Space bestellt. Dieser „*Konnect VHTS*“ genannte Satellit wird die Datenkapazität über Frankreich und Europa vervielfachen. Er hat eine Gesamtkapazität von 500 Gbit/s und soll 2021 in Dienst gestellt werden [17].

Zur Bekanntmachung der o.g. Kollaboration erklärte Delphine Gény-Stephann, Staatssekretärin im französischen Ministerium für Wirtschaft und Finanzen, dass der Start des Konnect VHTS Satelliten es ermöglichen wird, auch den entlegendsten Gemeinden in Frankreich einen Breitband-Internetanschluss zu bieten¹⁵ [1].

¹⁵ „Der Start dieses Satelliten erlaubt es uns ab 2021 den Einwohnern der abgelegendsten Gebiete einen Breitband-Internetanschluss anzubieten.“ („*La mise en orbite de ce satellite permettra de proposer en 2021 une offre d'internet fixe très haut débit pour les habitations les plus isolées de notre territoire.*“)

7. Begriffserklärungen

Geostationärer Orbit (GEO)

Ein Satellit, der sich in einer Höhe von 35.786 km über der Erde befindet, steht, von der Oberfläche aus gesehen, immer an derselben Position (stationär) am Himmel. Satelliten im GEO sind u. A. in ihrer Funktion zur Übertragung von Fernseh- und Rundfunkprogrammen bekannt.

Mittlerer Erdorbit (MEO)

Satelliten mit Flughöhen zwischen 2.000 und 35.786 km bewegen sich im Mittleren Erd-Orbit. Sie haben Umlaufzeiten zwischen ca. Zwei und 24 Stunden. Bekannte Satellitensystem im MEO sind GNSS wie GPS und Galileo und die im Aufbau befindliche O3b Konstellation von SES.

Niedriger Erdorbit (LEO)

Satelliten mit Flughöhen unterhalb von 2.000 km bewegen sich im Niedrigen Erd-Orbit. Bekannte Satellitensystem im LEO sind die Iridium Kommunikationssatelliten und die Satellitenkonstellation der Firma OneWeb.

Hoch-Elliptischer Orbit (HEO)

Möchte man Gegenden mit hoher geographischer Breite per Satellit abdecken, kann man dies über Hoch-Elliptische Orbits erreichen. Dies sind polare Orbits mit einem großes Verhältnis von erd-fernstem zu erd-nächstem Punkt. Auf diese Weise verbringt der Satellit einen Großteil seines Umlaufs über einem der Pole, während die Zeit über dem anderen Pol minimiert wird.

Satellitenkonstellation

Eine Anordnung mehrerer Satelliten, die dazu dient, einen bestimmten Dienst anzubieten (z.B. Navigation oder Kommunikation). Diese können sich in beliebigen Orbits befinden.

HTS/VHTS (High throughput satellite / Very high throughput satellite)

Neuartige Satellitensysteme, die bei gleicher Spektrumsnutzung deutlich höhere Datenraten erlauben als in der Vergangenheit.

FTTC (Fibre to the curb)

Glasfaserleitung bis zum Verteilerkasten an der Straße (DSLAM).

FTTB (Fibre to the building)

Glasfaserleitung bis zum Hausverteiler.

FTTH (Fibre to the home)

Glasfaserleitung bis zur Anschlussbuchse in der Wohnung.

ITU (International Communication Union)

Internationale Fernmeldeunion, eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen, die sich u. A. mit Frequenzkoordination befasst.

Literaturverzeichnis

- [1] Actu.fr mit einem Zitat von Delphine Gény-Stephann, Staatssekretärin im Ministerium für Wirtschaft und Finanzen, 13.05.2018. [Online]. Available: https://actu.fr/occitanie/toulouse_31555/un-satellite-nouvelle-generation-va-etre-construit-cest-toulouse-rafle-mise_16691636.html. [Zugriff am 30.10.2018].
- [2] SES Firmenpräsentation, 2018.
- [3] Koalitionsvertrag der Bundesregierung 2018, Z 352 ff.
- [4] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Richtlinie "Förderung zur Unterstützung des Breitbandausbaus in der Bundesrepublik Deutschland", vom 22.10.2015, 1. Novelle vom 03.07.2018.
- [5] Breitband.NRW im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk NR, "Alternative Verlegemethoden für den Glasfaserausbau - Hinweise für die Praxis", 20.01.2017, 1. Auflag.
- [6] TÜV Rheinland im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, "Szenarien und Kosten für eine kosteneffiziente flächendeckende Versorgung der bislang noch nicht mit mindestens 50 Mbit/s versorgten Regionen", 2013.
- [7] TÜV Rheinland Consulting, „Schnelles Internet in Deutschland bis 2018 – wie kann dieses Ziel erreicht werden?“, [Online]. Available: https://www.vdv-online.de/uploads/media/Geodaesiekongress_Praesentation_TUEV-Rheinland_final.pdf. [Zugriff am 25.10.2018].
- [8] Eutelsat Firmenpräsentation, 2018.
- [9] WonderNetwork, [Online]. Available: <https://wondernetwork.com/pings>. [Zugriff am 25.10.2018].
- [10] ITU Telecommunication Standardization Sector, Recommendation G.114, 05/2003.
- [11] Cisco Whitepaper, "The Zettabyte Era: Trends and Analysis", 06/2017.
- [12] Mitteilung der EU Kommission, "Konnektivität für einen wettbewerbsfähigen digitalen Binnenmarkt - Hin zu einer europäischen Gigabit-Gesellschaft", COM(2016) 587 final, 14.09.2016.
- [13] Pressemitteilung der Bundesnetzagentur, "Tätigkeitsberichte Telekommunikation und Post", 04.12.2017.
- [14] Euronics, „Mobile Datentarife: Hier bekommt ihr die meisten Gigabyte pro Euro,“ 17.04.2018. [Online]. Available: <https://trendblog.euronics.de/mobile-web/mobile-datentarife-die-meisten-gigabyte-pro-euro-60543/>. [Zugriff am 25.10.2018].
- [15] France ThD, 2015. [Online]. Available: <http://www.francethd.fr/>. [Zugriff am 25.10.2018].
- [16] CNES, 07.03.2017. [Online]. Available: <https://thdsat.cnes.fr/en/THDSAT/index.htm>. [Zugriff am 25.10.2018].

[17] Pressemitteilung von Eutelsat, "Eutelsat orders KONNECT VHTS, a new-generation satellite to deliver high-speed broadband across Europe", 05.04.2018.

[18] Bundesnetzagentur, „Breitbandmessung: Jahresbericht 2016/17“.

Abkürzungsverzeichnis

5

5G 5. Generation der Mobilfunknetze

F

FTTB..... *Fibre to the building*

FTTC *Fibre to the curb*

FTTH *Fibre to the home*

G

Gbit/s Gigabit pro Sekunde

GEO *Geostationary Earth Orbit* (Geostationärer Erdorbit)

H

HTS..... *High Throughput Satellite* (Satellit mit hohem Datendurchsatz)

I

ISL..... *Inter Satellite Link* (Verbindung zw. Satelliten)

ITU..... International Telecommunication Union

L

LEO..... *Low Earth Orbit* (Niedriger Erdorbit)

M

MIMO *Multiple Input Multiple Output* (Mehrfachverbindung im Ein- und Ausgang)

P

PIA..... *Programme d'investissements d'avenir* (Programm für Zukunftsinvestitionen)

Q

QoS *Quality of Service* (Qualität des Dienstes)

R

RTT *Round Trip Time* (Zeit zw. Anfrage und Antwort)

T

Tbit/s..... Terabit pro Sekunde

ThD..... *Très Haut Débit* (Breitbandinternet)

V

VHTS..... *Very High Throughput Satellite* (Satellit mit sehr hohem Datendurchsatz)

VoIP *Voice Over IP* (Sprachverbindung über das Internet Protokoll)

VPN *Virtual Private Network* (Virtuelles privates Kommunikationsnetz)

W

W-LAN Wireless Local Area Network