

SATELLITEN-SIGNALMONITORING • EUTELSAT 16A • 16,0°O

Fallstudie

Empfangsstabilität von Funkträgern mit extrem niedriger Symbolrate ($SR = 100\text{--}176\text{ kSym/s}$) im Ku-Band des Satelliten Eutelsat 16A unter den Bedingungen der Zone „In-Footprint Reception“

Empfangsstandort: Lučenec, südliche Mittelslowakei | Antenne: Prime-Focus-Reflektor
Prodelin, $D = 450\text{ cm}$ | Messsystem: TBS 5927 + EBS Pro

Autor der Untersuchung: Roman Dávid, www.dxsatcs.com

1. Einleitung und Ziel der Studie

Gegenstand dieser Studie ist die Analyse und Interpretation der Ergebnisse eines langfristigen Signalmonitorings dreier Hörfunkträger, die im Ku-Band vom geostationären Satelliten Eutelsat 16A auf der Orbitalposition 16,0° Ost ausgestrahlt werden. Der gemeinsame Nenner aller drei untersuchten Träger ist eine extrem niedrige Symbolrate (Symbol Rate, SR) im Bereich von 100 bis 176 kSym/s – also an der unteren Grenze dessen, was handelsübliche Empfangstechnik in der Praxis kontinuierlich und langfristig zuverlässig zu demodulieren vermag.

Träger mit einer derart niedrigen Symbolrate beanspruchen eine extrem schmale belegte Bandbreite (in der Größenordnung von Hunderten kHz) und sind aus Sicht der Theorie der digitalen Signalverarbeitung deutlich empfindlicher gegenüber Phasenrauschen, Frequenzinstabilität des Lokaloszillators des Empfangs-LNB sowie gegenüber der Abstimmungsgenauigkeit des Empfängers als übliche DVB-S/S2-Träger mit SR-Werten in der Größenordnung mehrerer Megasymbole pro Sekunde. Ziel der Studie ist es daher nicht nur, die vom Messautor Herrn Roman Dávid (www.dxsatcs.com) gemessenen Ergebnisse zu dokumentieren, sondern auch die physikalische und technische Natur jener Phänomene zu erläutern, die die Stabilität eines solchen Empfangs ermöglichen – beziehungsweise gefährden.

Der analysierte Empfangsstandort – die Stadt Lučenec in der südlichen Mittelslowakei – liegt in der deklarierten Versorgungszone von Eutelsat 16A mit einer garantierten äquivalenten isotropen Strahlungsleistung (EIRP) von etwa 49 bis 50 dBW (Zonen Europe A und Europe B der Satellitenversorgung), was der Autor in der vorgelegten Analyse als „In-Footprint Reception“ klassifiziert – Empfang innerhalb der Hauptkeule der Versorgung, im Gegensatz zum Empfang am Rand oder außerhalb des garantierten Footprints („Out-of-Footprint Reception“), wo ein wesentlich größerer Reflektordurchmesser und eine längere Nachweiseinheit für die Empfangsstabilität erforderlich sind.

2. Geometrische Parameter der Empfangsstation Lučenec

Die präzise Berechnung von Azimut, Elevation und LNB-Drehwinkel (Skew) ist eine unverzichtbare Voraussetzung für jede seriöse technische Analyse des Satellitenempfangs, da eine falsch ausgerichtete Antenne zusätzliche Depolarisation und Dämpfung in das System einbringt, die sich bei Trägern mit schmalen Spektrum und niedrigem Signal-Rausch-Abstand besonders deutlich bemerkbar machen. Für die Genauigkeit dieser Studie wurden verifizierte Daten des Dienstes dishpointer.com für die Koordinaten der Stadt Lučenec (geografische Breite 48,3331° N, geografische Länge 19,6664° O) sowie für den Satelliten Eutelsat 16A auf Position 16,0° O verwendet:

Parameter	Wert
Geografische Breite des Standorts (Lučenec)	48,3331° N
Geografische Länge des Standorts (Lučenec)	19,6664° O
Azimut (wahr / geografisch Nord)	184,9°
Azimut (magnetisch)	178,8°
Antennenelevation	34,4°

LNB-Drehwinkel (Skew)	3,3°
-----------------------	------

Tabelle 1: Geometrische Parameter der Antennenausrichtung für den Empfang von Eutelsat 16A am Standort Lučenec (Datenquelle: dishpointer.com).

Eine Elevation von 34,4° ist für die mitteleuropäische geografische Breite ein vergleichsweise günstiger Wert – der Signalweg durchquert die Atmosphäre unter einem hinreichend steilen Winkel, sodass die effektive Dicke der atmosphärischen Schicht (und damit auch die durch Niederschlag verursachte Dämpfung, der sogenannte Regenfading) nicht extrem ausfällt, im Gegensatz zum Empfang von Satelliten mit deutlich niedrigerer beobachteter Elevationsbahn. Ein Skew von 3,3° ist ein nahe bei Null liegender Wert, was nur eine minimale Korrektur der LNB-Drehung gegenüber der vertikalen Referenzlage bedeutet – für polarisationsempfindlichen Empfang (und Träger mit niedriger SR gehören eindeutig in diese Kategorie) ist die präzise Einhaltung dieses Winkels wichtig, um die Kreuzpolarisationsisolation (XPD) zu maximieren und Übersprechen zwischen vertikal und horizontal polarisierten Trägern in enger Frequenznähe zu minimieren.

3. Technische Konfiguration der Empfangskette

Das Empfangssystem besteht aus einem parabolischen Prime-Focus-Reflektor Prodelin mit einem Durchmesser von $D = 450$ cm, einem LNB mit hochstabilem PLL-Oszillator (deklarierte LOF-Stabilität ± 10 kHz) sowie einem digitalen Messgerät/Analysator TBS 5927, gesteuert durch die Software EBS Pro. Der Autor betont in der vorgelegten Analyse, dass in der Zone „In-Footprint Reception“ mit einer garantierten EIRP von etwa 49–50 dBW rein aus energetischer Sicht bereits ein Reflektor mit einem Durchmesser ab etwa 80 cm für den stabilen Empfang von Standardträgern ausreichen würde. Die Tatsache, dass im vorliegenden Fall ein deutlich überdimensionierter Reflektor mit 450 cm Durchmesser eingesetzt wurde, dient daher einem anderen Zweck als nur der Erhöhung der empfangenen Leistung – sein Hauptnutzen liegt in der Verengung der Hauptkeule der Antenne (und damit einer höheren räumlichen Selektivität gegenüber benachbarten Satelliten) sowie vor allem in einer erheblichen Reserve des Träger-Rausch-Abstands (C/N), die sich in dieser Studie als Schlüsselfaktor für die Demodulation extrem schmalbandiger Träger erweist.

An dieser Stelle ist ein wichtiger Punkt hervorzuheben, den der Autor zutreffend erkennt: Beim Empfang von Trägern mit niedriger SR ist nicht der Reflektordurchmesser (die energetische Bilanz) der primär limitierende Faktor, sondern die Qualität und Stabilität der Signalkette hinter der Antenne – vor allem der LNB-Oszillator und die Genauigkeit der digitalen Abstimmung. Ein großer Reflektor dient in diesem Zusammenhang nicht dazu, „ein Signal einzufangen, das sonst nicht hörbar wäre“, sondern dazu, eine ausreichende C/N-Reserve zu schaffen, die es ermöglicht, dass sich auch geringe verbleibende Frequenz- und Phaseninstabilitäten des Oszillators lediglich als leichte Schwankung der Qualität (Q) und nicht als Verlust der Synchronisation (Lock) bemerkbar machen.

4. Der Einfluss der Lokaloszillator-Stabilität (LOF) auf die Demodulation von Low-SR-Trägern

Die Frequenz des Lokaloszillators (LO) im Satelliten-LNB dient der Umsetzung des empfangenen Hochfrequenzsignals aus dem Ku-Band (10,7–12,75 GHz) in ein Zwischenfrequenzband, das vom Tuner des Empfängers verarbeitet werden kann

(typischerweise 950–2150 MHz). Jede Abweichung der tatsächlichen Oszillatorfrequenz von ihrem Nennwert – als LOF-Offset (Local Oscillator Frequency) bezeichnet – überträgt sich linear auf die Position des empfangenen Trägers im Zwischenfrequenzspektrum. Bei üblichen Trägern mit hoher SR (z. B. mehreren MSym/s) stellt selbst ein Offset von mehreren zehn kHz einen vernachlässigbaren Bruchteil der belegten Bandbreite dar. Bei einem Träger mit $SR = 100 \text{ kSym/s}$ ist die Situation jedoch grundlegend anders.

Die belegte Bandbreite eines Trägers lässt sich in erster Näherung (bei QPSK-Modulation mit typischem Roll-off-Faktor) als Produkt aus Symbolrate und dem Koeffizienten $(1 + \text{Roll-off})$ abschätzen. Der Autor gibt für den Träger Radio Wrocław eine gemessene Bandbreite (Carrier Width) von 0,120 MHz an, also 120 kHz – ein Wert, der mit einem Träger von $SR = 100 \text{ kSym/s}$ bei einem Roll-off-Faktor nahe 0,20 (typisch für DVB-S-Träger dieses Typs) voll konsistent ist. In einem solchen Fall stellt bereits ein LO-Frequenzversatz in der Größenordnung von einigen bis einigen zehn kHz zig Prozent der belegten Trägerbandbreite dar – und der Demodulator (eine Costas-Schleife oder eine ähnliche Phasen-/Frequenzregelschleife im Empfängerchip) muss in der Lage sein, diesen Offset in Echtzeit zu verfolgen und ohne Synchronisationsverlust zu kompensieren.

Die deklarierte LOF-Stabilität des verwendeten PLL-Oszillators von $\pm 10 \text{ kHz}$ ist unter diesem Gesichtspunkt ein Schlüsselparameter. Bei einem Träger mit einer Bandbreite von 120 kHz stellt ein Offset von $\pm 10 \text{ kHz}$ etwa 8–9 % der belegten Spektralbreite dar – ein Wert, der sicher innerhalb des zentralen Bereichs liegt, den die Frequenzregelschleife eines modernen DVB-S-Demodulators (einschließlich des im Empfänger TBS 5927 verwendeten Chipsatzes) im eingeschwungenen Zustand ohne Risiko eines Lock-Verlusts verfolgen kann. Zum Vergleich: Günstigere oder ältere LNBs mit einem dielektrischen Resonatoroszillator (DRO) anstelle eines PLL weisen üblicherweise eine LOF-Stabilität in der Größenordnung von $\pm 500 \text{ kHz}$ bis $\pm 2 \text{ MHz}$ auf, zudem mit ausgeprägter Temperaturabhängigkeit (Drift bei Temperaturänderungen zwischen Tag und Nacht). Bei einem solchen Instabilitätsniveau könnte die Frequenzverschiebung eines Trägers mit lediglich 120 kHz Bandbreite das Abstimmfenster des Empfängers vollständig aus dem Suchbereich des Demodulators „herausdrücken“, sodass ein Lock-Verlust praktisch unvermeidlich wäre, insbesondere bei Temperaturänderungen des LNB während eines langfristigen Monitorings.

Unter diesem Gesichtspunkt stellt die Verwendung eines LNB mit PLL-Oszillator und LOF-Stabilität von $\pm 10 \text{ kHz}$ nicht lediglich eine qualitative Verbesserung dar, sondern beim Empfang von Trägern mit einer SR unter etwa 200 kSym/s eine technische Voraussetzung, ohne die ein langfristig stabiler, ausfallfreier Empfang – unabhängig vom Durchmesser des verwendeten Reflektors – realistisch nicht zu erreichen ist.

5. Ultraschmale Trägerbandbreite (Carrier Width = 0,120 MHz) und ihre Folgen

Eine schmale belegte Spektralbreite hat zwei gegenläufige Konsequenzen. Einerseits konzentriert sie die abgestrahlte Trägerleistung auf ein enges Frequenzintervall, was bei gegebener Satelliten-EIRP die spektrale Leistungsdichte (Leistung pro Bandbreiteneinheit) und damit auch den theoretisch erreichbaren Träger-Rausch-Abstand erhöht – dies ist der physikalische Grund dafür, dass selbst Träger mit vergleichsweise niedriger absoluter abgestrahlter Leistung bei ausreichend großer Empfangsapertur mit überraschend hohem SNR demoduliert werden können (der Autor gibt einen gemessenen Spitzenwert von $SNR = 17,7 \text{ dB}$ an, einen Wert mit erheblicher Reserve über der für ein stabiles DVB-S-Lock

erforderlichen Schwelle, die bei QPSK-Modulation und mittlerer Coderate üblicherweise im Bereich von 4–7 dB liegt).

Andererseits stellt eine schmale Bandbreite deutlich höhere Anforderungen an die Abstimmgenauigkeit und an die Qualität des Phasenrauschens (Phase Noise) des verwendeten Oszillators, da jegliches Phasenrauschen in der Nähe der Trägerfrequenz einen relativ größeren Anteil der Gesamtspektralbreite einnimmt als bei einem breitbandigen Träger. Ebenso sind dopplerähnliche Effekte, die durch geringfügigen Drift der geostationären Satellitenposition verursacht werden (in der Praxis in der Größenordnung von Einheiten bis zehn Hz bei klassischem Heimempfang), bei einem derart schmalen Träger relativ bedeutsamer als bei breitbandigen DVB-S2-Trägern in der Größenordnung von Einheiten bis zehn MSym/s.

6. Die Notwendigkeit einer präzisen manuellen Frequenzabstimmung in EBS Pro

Aus der vorangegangenen Analyse ergibt sich unmittelbar eine praktische Konsequenz, die der Autor in seinem Vorgehen zutreffend berücksichtigt: die manuelle Eingabe der Trägerfrequenz in EBS Pro mit einer Genauigkeit von drei Dezimalstellen (d. h. auf kHz-Ebene, beispielsweise 12.590,540 MHz anstelle des gerundeten Werts von 12.590,5 MHz oder 12.591 MHz). Bei einem Träger mit einer Bandbreite von 120 kHz stellt der Unterschied zwischen einem gerundeten und einem präzisen Frequenzwert, in der Größenordnung von einigen hundert Hz bis einigen kHz, einen nicht vernachlässigbaren Anteil des Suchfensters des Demodulators dar. Die präzise Eingabe der Frequenz auf drei Dezimalstellen bedeutet in der Praxis, dass der Demodulator bei der Lock-Initialisierung keinen breiteren Frequenzbereich um den Nennwert „absuchen“ muss, wodurch sich die Zeit bis zur Synchronisation verkürzt und die Wahrscheinlichkeit sinkt, dass sich die Frequenzsynchronisationsschleife an ein benachbartes Rausch- oder Intermodulationsprodukt anstelle des eigentlichen Trägers „anlockt“.

Dieser Schritt ist ein typisches Beispiel dafür, wie theoretische Parameter (Trägerbandbreite, LOF-Stabilität des LNB) auch in die praktische Konfiguration der Mess-/Empfangssoftware übertragen werden müssen – ohne diese Kombination (hochwertiger PLL-Oszillator plus präzise manuelle Frequenzeingabe) würde selbst eine theoretisch ausreichende energetische Signalbilanz kein stabiles Ergebnis garantieren.

7. Übersicht der analysierten Träger

Die folgende Tabelle fasst die drei Hörfunkträger des Satelliten Eutelsat 16A zusammen, die Gegenstand des langfristigen Signalmonitorings des Autors am Standort Lučenec waren, unter Anwendung der minimalen Nachweiseinheit der Empfangsstabilität von $t = 48$ Stunden für die Zone „In-Footprint Reception“:

Frequenz	Polarisation	SR (kSym/s)	Programm
12.590,540 MHz	V (vertikal)	100	Radio Wrocław
12.589,555 MHz	V (vertikal)	146	Radio Gdańsk
10.972,126 MHz	H (horizontal)	176	BNR Nieuwsradio

Tabelle 2: Übersicht der überwachten Hörfunkträger auf dem Satelliten Eutelsat 16A.

8. Erweiterte 72-Stunden-Monitoringeinheit für den Träger SR = 100 kSym/s (Radio Wrocław)

Der niedrigste in dieser Studie untersuchte Symbolratenwert, SR = 100 kSym/s des Trägers Radio Wrocław auf 12.590,540 MHz (V), stellt unter allen drei analysierten Trägern technisch den anspruchsvollsten Fall dar – weshalb der Autor ihn einem erweiterten Monitoring von $t = 72$ Stunden unterzogen hat, anstelle der für die Zone „In-Footprint Reception“ geltenden Standard-Basiseinheit von $t = 48$ Stunden. Durch die Verlängerung des Monitorings um weitere 24 Stunden (d. h. um weitere 86.400 Messpunkte bei der üblichen Abtastperiode von einem Punkt pro Sekunde) stieg der Gesamtumfang des ununterbrochenen Datensatzes auf 259.200 aufeinanderfolgende Messpunkte.

Nach Angaben des Autors wurde in diesem Datensatz von 259.200 Messpunkten kein einziger Punkt mit Synchronisationsverlust (Lock) verzeichnet, und der Empfangsqualitätsparameter Q blieb in EBS Pro während der gesamten Messung konstant bei $Q = 100$ %. Der aufgezeichnete Spitzenwert des Signal-Rausch-Abstands von $SNR = 17,7$ dB stellt eine erhebliche Reserve über der zur Aufrechterhaltung des Lock erforderlichen Schwelle dar, was mit der oben erläuterten günstigen spektralen Leistungsdichte eines schmalbandigen Trägers in Kombination mit der großen Reflektorapertur von $D = 450$ cm korreliert.

Nach Angaben des Autors umfasste der Messzeitraum auch Episoden erhöhter Niederschlagsintensität am 11. und 12. September 2026 im Gebiet der Stadt Lučenec, belegt durch Auswertungen des Slowakischen Hydrometeorologischen Instituts (shmu.sk). Die Tatsache, dass die Lock-Kontinuität und der Q-Wert laut vorgelegter Dokumentation während dieser Niederschlagsepisoden unverändert blieben, steht im Einklang mit dem zu erwartenden Verhalten eines Systems mit großer Antennenapertur: Die durch Niederschlag verursachte Dämpfung (Rain Fade) liegt im Ku-Band bei durchschnittlicher mitteleuropäischer Niederschlagsintensität und einer Elevation von etwa 34° üblicherweise in der Größenordnung von 1–3 dB, während die gemessene SNR-Reserve (bis zu 17,7 dB im Spitzenwert) ausreichend Spielraum bietet, um eine solche kurzzeitige Dämpfung zu absorbieren, ohne unter die Lock-Verlust-Schwelle zu fallen.

Anmerkung zur Interpretation der statistischen Aussagekraft der Daten: Die Anzahl von 259.200 kontinuierlichen Messpunkten ist bedeutsam für den Nachweis der Kontinuität eines Zustands (Fehlen eines Ausfalls innerhalb dieses konkreten, einzigen beobachteten Zeitfensters), sollte jedoch

korrekt interpretiert werden – es handelt sich nicht um 259.200 unabhängige, statistisch getrennte Experimente, sondern um eine einzige durchgehende Zeitreihenaufzeichnung mit hoher Abtastfrequenz. Der wissenschaftliche Wert einer solchen Aufzeichnung liegt im Nachweis, dass innerhalb des gegebenen 72-Stunden-Fensters, bei der gegebenen Konfiguration und den gegebenen Witterungsbedingungen, kein Ausfall aufgetreten ist – nicht darin, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit unter allen denkbaren künftigen Bedingungen gleich null ist.

9. Diskussion und zusammenfassende Interpretation

Die Ergebnisse des vorgestellten Monitorings lassen sich in drei miteinander verknüpften technischen Schlussfolgerungen zusammenfassen. Erstens ist die energetische Bilanz in der Zone „In-Footprint Reception“ mit einer EIRP von 49–50 dBW bei Trägern dieses Typs nicht der limitierende Faktor – der Reflektordurchmesser von $D = 450$ cm bietet eine erhebliche C/N-Reserve, die bei Standard-DVB-S/S2-Trägern überdimensioniert wäre, bei extrem schmalbandigen Trägern mit SR unter 200 kSym/s jedoch als Absicherung gegen kurzzeitige Dämpfungserscheinungen (Niederschlag, atmosphärische Szintillation) fungiert. Zweitens wird in diesem SR-Bereich die Qualität der Signalkette hinter der Antenne zum entscheidenden limitierenden Faktor – vor allem die Stabilität der LOF des LNB, die bei Trägern mit einer Bandbreite in der Größenordnung von 100–300 kHz im Bereich von Einheiten bis niedrigen zehn kHz liegen muss, damit der Demodulator den Frequenzversatz zuverlässig verfolgen kann. Drittens ist die Genauigkeit der manuellen Frequenzeingabe in der Mess-/Empfangssoftware auf kHz-Ebene keine bloße Formalität, sondern ein notwendiger praktischer Schritt, der die Belastung der Frequenzsynchronisationsschleife des Empfängers verringert.

Die vom Autor vorgelegten Daten liefern somit einen überzeugenden, gut dokumentierten empirischen Nachweis dafür, dass bei einer korrekt konzipierten Kombination aus großer Empfangsapertur, hochstabilem PLL-LNB-Oszillator und präziser Softwareabstimmung ein langfristig stabiler, ausfallfreier Empfang von Trägern mit einer SR ab 100 kSym/s vom Satelliten Eutelsat 16A in Mitteleuropa real erreichbar ist, auch bei vorübergehend ungünstigen Witterungsbedingungen. Für eine vollständige Verallgemeinerung dieser Schlussfolgerung auf andere Standorte, andere LNB-Typen oder extremere Niederschlagsereignisse (z. B. intensive Gewitter mit hohem Wassergehalt in der Atmosphäre) wäre es wünschenswert, diese Studie um vergleichbare Messungen unabhängiger weiterer Stationen sowie um langfristige Klimastatistiken des betreffenden Standorts zu ergänzen.

10. Schlussfolgerung

Diese Fallstudie bestätigt, dass der Empfang von Hörfunkträgern mit extrem niedriger Symbolrate (SR = 100–176 kSym/s) vom Satelliten Eutelsat 16A in der garantierten Versorgungszone „In-Footprint Reception“ bei einem korrekt konzipierten Empfangssystem technisch zuverlässig erreichbar ist. Die Messdokumentation des Autors Roman Dávid – konkret die durchgehende 72-Stunden-Aufzeichnung mit 259.200 Messpunkten ohne einen einzigen Lock-Ausfall beim Träger Radio Wrocław (SR = 100 kSym/s) – stellt einen qualitativ hochwertigen und gut dokumentierten Beitrag zum praktischen Verständnis der Grenzen heutiger handelsüblicher Satellitenempfangstechnik beim Empfang schmalbandiger Träger im Ku-Band dar.

11. Verwendete Literatur und Quellen

Technische Normen und Standards

- ETSI EN 300 421 V1.1.2: „Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services“. European Telecommunications Standards Institute.
- ETSI EN 302 307: „Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)“. European Telecommunications Standards Institute.
- ITU-R Empfehlung P.618: „Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems“. International Telecommunication Union – Abschnitt zur Regendämpfung in Frequenzbändern oberhalb von 10 GHz.
- ITU-R Empfehlung S.465: „Reference radiation pattern for earth station antennas in the fixed-satellite service for use in coordination and interference assessment“. International Telecommunication Union.

Fachliteratur

- Pratt, T., Bostian, C. W., Allnutt, J. E.: Satellite Communications, 2. Auflage, John Wiley & Sons, 2003. (Kapitel zu Linkbudget, Ku-Band-Dämpfung und dem Einfluss von Oszillator-Phasenrauschen auf die Demodulation.)
- Maral, G., Bousquet, M.: Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology, 5. Auflage, John Wiley & Sons, 2009.
- Tomasi, W.: Electronic Communications Systems: Fundamentals Through Advanced, 5. Auflage, Pearson Prentice Hall, 2004. (Kapitel zu Phasenregelschleifen – PLL und Frequenzsynthese im LNB.)
- Rice, M.: Digital Communications: A Discrete-Time Approach, Pearson Prentice Hall, 2009. (Theoretische Grundlage des Zusammenhangs zwischen Symbolrate, Roll-off-Faktor und belegter Bandbreite.)

In der Studie verwendete Datenquellen und Online-Werkzeuge

- www.dxsatcs.com – das Autorenportal von Roman Dávid mit den Original-Daten des Signalmonitorings, einer Beschreibung der HW/SW-Konfiguration (TBS 5927, EBS Pro) und der Methodik der Nachweiseinheiten der Empfangsstabilität ($t = 48 \text{ h}$ / $t = 72 \text{ h}$).
- www.dishpointer.com – ein Online-Werkzeug zur Berechnung von Azimut, Elevation und LNB-Drehwinkel (Skew) für eine gegebene geografische Position und einen ausgewählten Satelliten; Quelle der in Tabelle 1 angegebenen geometrischen Daten.
- www.shmu.sk – das Slowakische Hydrometeorologische Institut; Quelle meteorologischer Daten zur Niederschlagsintensität im Gebiet der Stadt Lučenec am 11. und 12. September 2026, verwendet zur Bewertung des Einflusses des Regenfadings auf den Monitoringverlauf.
- Lyngsat (www.lyngsat.com) – eine öffentliche Datenbank der Frequenzpläne und der Transponderbelegung des Satelliten Eutelsat 16A, verwendet als orientierende Referenzquelle bei der Überprüfung der technischen Parameter der überwachten Träger.

Hinweis: Das Verzeichnis enthält allgemeine technische Normen und Fachliteratur aus dem Bereich der Satellitenkommunikation, die den theoretischen Rahmen für die Interpretation der Ergebnisse