Empfang der Trägerfrequenzen des Satelliten Al Yah 1 (52,5° E) in der Zone Out Of Footprint

Fallstudie aus Lučenec (Slowakische Republik) mit dem Prime-Focus-Reflektor Prodelin D = 450 cm: sechs Träger aus dem EAST-Beam und einer aus dem MENA-Beam im Ku-Band

Autor der Messungen und der Methodik: Roman Dávid, www.dxsatcs.com
Empfangsort: Lučenec, Slowakische Republik (48,3331° N, 19,6664° O)
Erstellungsdatum: 9. November 2026
Fachgebiete: Wellenphysik, Hochfrequenztechnik, Mathematik, Satellitenempfang
Datenquellen: Signalmonitorings des Autors (7 Träger, insgesamt 510 h); AZ/EL nach dishpointer.com; Ausleuchtungsdiagramme von SES/Yahsat
Bearbeitung: Text, Berechnungen und Grafiken wurden vom Sprachmodell Claude (Anthropic) auf der Grundlage der Daten und Aussagen des Autors erstellt; alle Messwerte stammen vom Autor.

Abstract. Die Studie analysiert den durchgehenden Empfang von sieben Trägerfrequenzen des Satelliten Al Yah 1 (Yahsat 1A, 52,5° E) in Lučenec, also in einem Gebiet weit außerhalb des Footprints (Out Of Footprint) der Beams EAST und MENA. Der Empfang wurde mit einem Prodelin-Reflektor mit 450 cm Durchmesser überwacht; jeder Träger wurde mindestens 72 Stunden lang beobachtet, insgesamt 510 Stunden, was bei einer Abtastung mit 1 Hz 1 836 000 Messpunkten entspricht. Der Qualitätsparameter Q fiel kein einziges Mal auf null, das heißt, es trat kein einziger Lock-Ausfall auf, und zwar auch bei gelegentlichen Regenschauern mäßiger Intensität. Die Herleitung des Pointings (AZ 139,2° / EL 26,2°), der Signalstrecke (38 962 km, Freiraumdämpfung 205,8 dB), der Modulationsschwellen und der Regendämpfung zeigt, dass der beobachtete Zustand physikalisch konsistent mit einem orientierenden Link-Budget ist. Der Vergleich mit den Aufzeichnungen aus dem Jahr 2022 nach der Umrechnung auf die gemeinsame Größe Es/N_0 deutet auf einen Rückgang des Signalpegels in der Größenordnung von 3 bis 6 dB hin (typischerweise etwa 4 dB), wobei sich die Ursache erst durch weitere Kontrollmessungen bestimmen lässt. Die Studie nennt auch die Grenzen der Interpretation, die bei einer Veröffentlichung einzuhalten sind.

Schlüsselwörter: Al Yah 1, Yahsat 1A, 52,5° E, Ku-Band, Out Of Footprint, EAST, MENA, DVB-S, DVB-S2, Es/N_0, Signalreserve, Regendämpfung, Lučenec, Mitteleuropa.

1. Einleitung und Ziel der Studie

Satellitenempfang außerhalb des Footprints (Out Of Footprint) bezeichnet ein Gebiet, für dessen Abdeckung das Ausleuchtungsdiagramm des Satelliten nicht mehr ausgelegt ist und in dem das empfangene Signal deshalb aus den Randbereichen der Hauptkeule oder aus ihrem steilen Abfall vom Kern der Abdeckung weg stammt. Der EIRP-Wert sinkt dort gegenüber dem Maximum des Diagramms um mehrere Dutzend dB, und ein Empfang ist nur dank einer großen effektiven Antennenfläche, einer niedrigen Rauschtemperatur der Empfangskette und der Stabilität der gesamten Übertragungsstrecke möglich. Der Satellit Al Yah 1 (Yahsat 1A) sendet auf der Position 52,5° E im Ku-Band in mehreren Beams. Für diese Studie sind der Beam EAST, der für das Gebiet vom Persischen Golf bis Zentralasien bestimmt ist, und der Beam MENA, der Nordafrika und den Nahen Osten abdeckt, von Bedeutung.

Ziel der Studie ist es, die Ergebnisse der langfristigen Signalmonitorings, die der Autor in Lučenec durchgeführt hat, ausführlich zu analysieren und in einen physikalischen und mathematischen Rahmen einzuordnen. Die Studie widmet sich drei Fragen:

(a) Wie sieht die Empfangsgeometrie aus (Azimut, Elevation, Entfernung, Freiraumdämpfung, Strahlbreite der Antenne), und was folgt daraus für die Anforderungen an die Ausrichtungsgenauigkeit?
(b) Welche Ergebnisse wurden erzielt (Dauer, Anzahl der Messpunkte, Ausbleiben von Lock-Ausfällen), und welche statistische und physikalische Bedeutung haben sie?
(c) Wie unterscheidet sich der heutige Zustand von den Aufzeichnungen aus dem Jahr 2022, und welche Erklärungen lässt der Signalrückgang zu?

Die zentrale Aussage des Autors lautet: Mit einem Reflektor von 450 cm lassen sich in Mitteleuropa dauerhaft und ohne Lock-Ausfall sieben Träger von Al Yah 1 empfangen, darunter ein Träger aus dem MENA-Beam. Die Studie entwickelt diese Aussage ausführlich und zeigt, in welchem Rahmen sie durch die gemessenen Daten gestützt wird. Wo Daten später ergänzt werden (zum Beispiel Niederschlagstabellen), ist dies ausdrücklich angegeben.

2. Empfangsgeometrie: AZ/EL, Entfernung und Strahlbreite der Antenne

2.1 Antennenausrichtung für Lučenec

Die Angaben zur Antennenausrichtung wurden von dishpointer.com übernommen (Screenshot unter dem Text). Für den Standort 48,3331° N und 19,6664° O und den Satelliten auf 52,5° E sind folgende Werte richtig:

Größe	Wert (dishpointer.com)	Unabhängige Berechnung
Azimut (wahr, bezogen auf geografisch Nord)	139,2°	139,18°
Azimut (magnetisch)	133,1°	Differenz 6,1° = magnetische Deklination
Elevation	26,2°	26,16°
LNB-Skew	−25,8°	–
Länge der Schrägstrecke Satellit – Antenne	–	38 962 km
Signallaufzeit (einfacher Weg)	–	≈ 130 ms

Die Werte von dishpointer.com habe ich durch eine unabhängige Berechnung nach der Geometrie der geostationären Bahn überprüft (Anhang A). Das Ergebnis 139,18° und 26,16° stimmt im Rahmen der Rundung mit den Werten 139,2° und 26,2° überein, sodass diese Angaben in der Studie als maßgeblich verwendet werden.

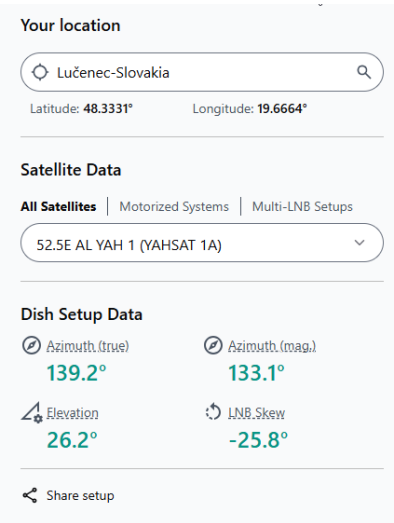


Abb. 1 – Antennenausrichtung für Lučenec und Al Yah 1 (Yahsat 1A) auf 52,5° E nach dishpointer.com: AZ 139,2° (wahr), 133,1° (magnetisch), EL 26,2°, LNB-Skew −25,8°.

2.2 Bedeutung der niedrigen Elevation

Die Elevation von 26,2° gehört zu den mittelniedrigen. Das Signal durchquert die Troposphäre auf einem Schrägweg, der etwa 1 / sin(26,2°) ≈ 2,3-mal länger ist als in Zenitrichtung. Für den Empfang im Ku-Band ergeben sich daraus drei Folgen: eine größere Gasdämpfung (Sauerstoff und Wasserdampf), ein längerer Weg durch die Regenschicht und eine größere Amplitude der troposphärischen Szintillation. Außerdem erhöht eine niedrige Elevation die Anforderung an die freie Sichtverbindung in Richtung 139° (Hindernisse, Bäume, Gebäude). Die langfristige Lock-Stabilität auf allen sieben Trägern bestätigt zugleich indirekt, dass die Strecke frei ist.

2.3 Freiraumdämpfung und Laufzeit

Bei einer Entfernung d = 38 962 km und einer Frequenz f = 11,9 GHz beträgt die Freiraumdämpfung

$$L_{fs} = 92{,}45 + 20\cdot\log_{10}(d\ [km]) + 20\cdot\log_{10}(f\ [GHz]) \approx 205{,}8\ dB.$$

Das ist der dominierende Verlust der Strecke. Jede Verdopplung der Entfernung würde 6 dB hinzufügen, doch bei einem geostationären Satelliten ist die Entfernung fest; praktisch lassen sich daher nur der Antennengewinn, die Rauschtemperatur und natürlich der EIRP verändern, den allerdings nur der Betreiber beeinflusst.

2.4 Gewinn und Strahlbreite des 450-cm-Reflektors

Die Wellenlänge bei 11,9 GHz beträgt λ ≈ 2,52 cm. Der Gewinn eines Parabolreflektors mit dem Durchmesser D und dem Wirkungsgrad η ist

$$G = \eta\cdot(\pi\cdot D / \lambda)^2$$

Bei D = 4,5 m und η = 0,60 bis 0,70 ergibt sich G ≈ 52,8 bis 53,4 dBi (Mittelwert 53,1 dBi für η = 0,65). Die Strahlbreite bei einem Abfall um 3 dB beträgt näherungsweise

$$\theta_{3\ dB} \approx 70\cdot\lambda / D \approx 0{,}39°.$$

Ein schmaler Strahl hat zwei Seiten. Die gute Seite ist die ausgezeichnete Unterdrückung von Signalen benachbarter Satelliten und terrestrischer Störungen. Der Nachteil ist die strenge Anforderung an die Ausrichtungsgenauigkeit: Eine Abweichung vom Maximum um Δθ verursacht einen Gewinnabfall von etwa

$$\Delta G \approx 12\cdot(\Delta\theta / \theta_{3\ dB})^2\ [dB].$$

Für Δθ = 0,05° sind das ≈ 0,2 dB, für Δθ = 0,10° ≈ 0,8 dB, für Δθ = 0,20° ≈ 3,2 dB. Bewegt sich die Signalreserve auf einem Niveau von 1 bis 2 dB, ist daher jedes Zehntelgrad kritisch; Wind, die thermische Ausdehnung der Konstruktion und kleine Verschiebungen der Montage können die Reserve somit vollständig aufzehren. Die beobachtete Stabilität spricht deshalb auch für eine mechanisch sehr feste Montage.

Zum Vergleich: Ein Reflektor mit 300 cm Durchmesser hat einen um $20\cdot\log_{10}(450/300) = 3{,}52$ dB geringeren Gewinn und einen Strahl von etwa 0,59° Breite. Dieser Unterschied wird in Kapitel 8 verwendet.

3. Ausleuchtungsdiagramme EAST und MENA und die Lage von Lučenec

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die offiziellen EIRP-Diagramme im Ku-Band für die Beams EAST und MENA des Satelliten Yahsat 1A. Vollflächig eingefärbte Bereiche kennzeichnen Gebiete mit höherem EIRP, die Isolinien sind in dBW angegeben. Im Beam EAST sind die Isolinien 51, 50 und 48 dBW eingezeichnet, im Beam MENA 50, 48, 46 und 44 dBW.

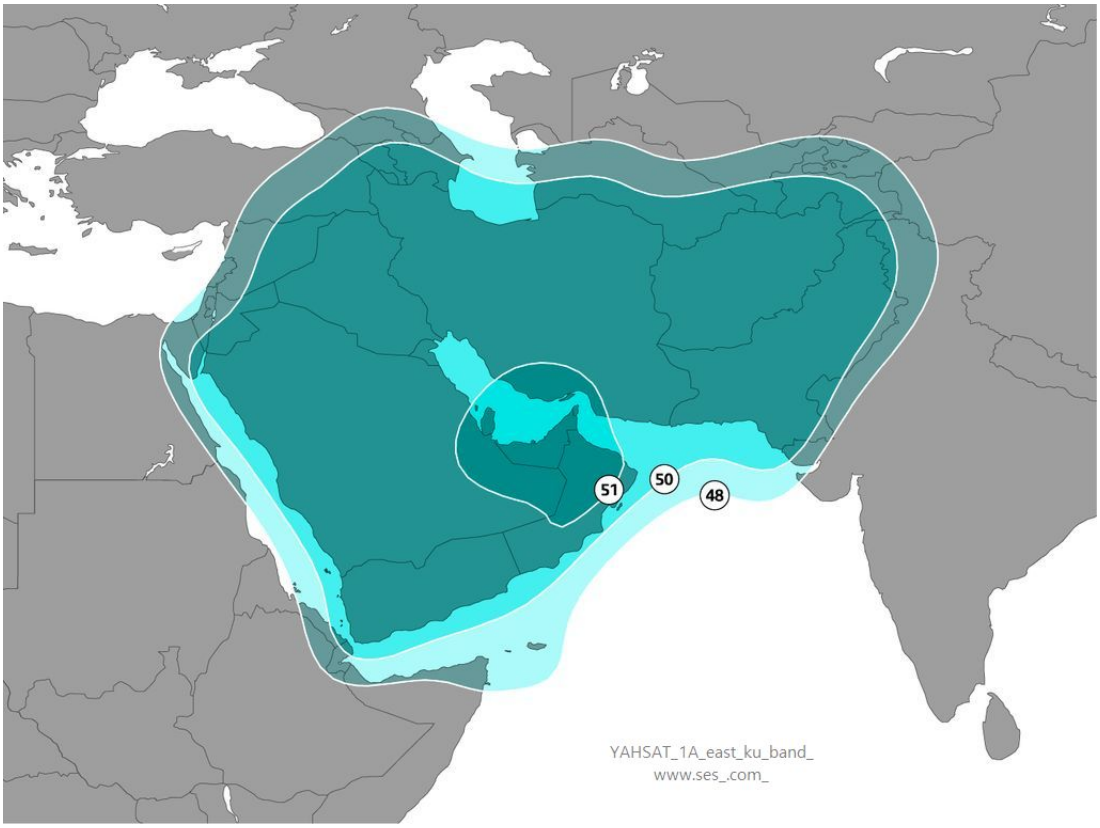


Abb. 2 – Ausleuchtungsdiagramm EAST (Ku-Band) des Satelliten Yahsat 1A; EIRP-Isolinien 51/50/48 dBW. Quelle: SES (www.ses.com). Lučenec liegt nordwestlich des dargestellten Ausschnitts, außerhalb aller dargestellten Isolinien.

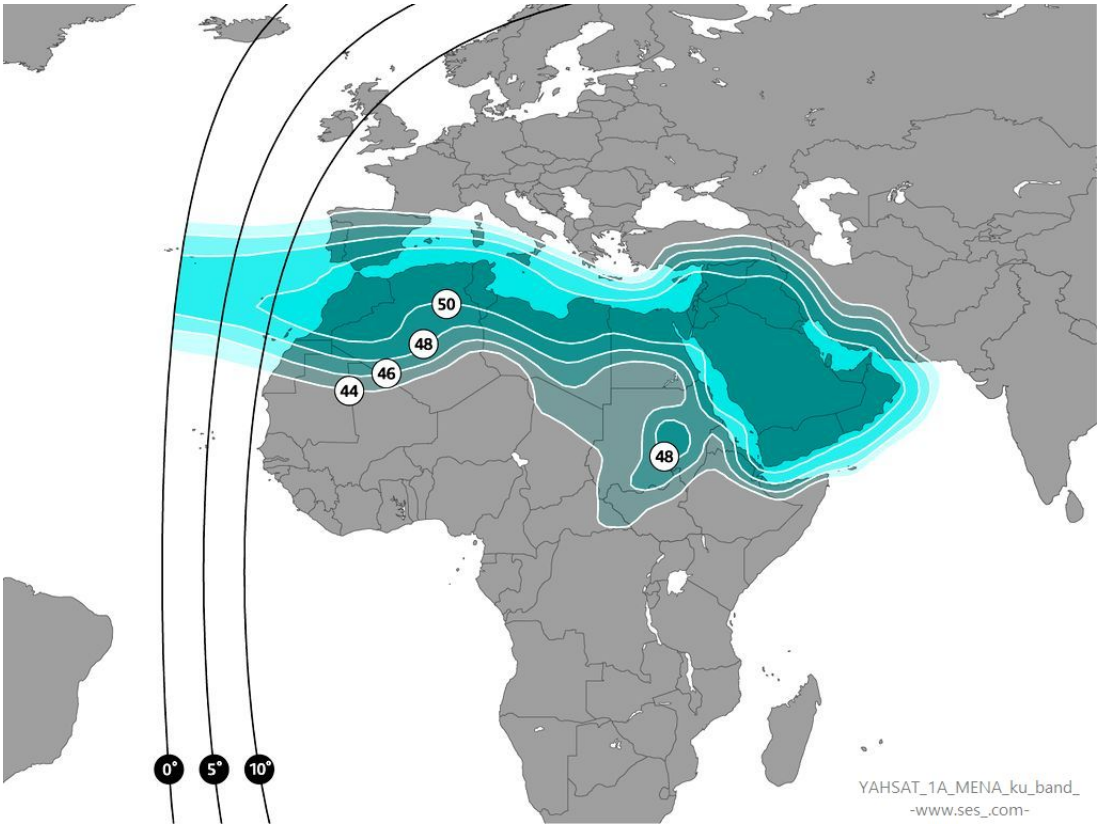


Abb. 3 – Ausleuchtungsdiagramm MENA (Ku-Band); EIRP-Isolinien 50/48/46/44 dBW. Quelle: SES (www.ses.com). Mitteleuropa liegt nördlich der am weitesten entfernten dargestellten Isolinie.

Aus beiden Diagrammen folgt, dass Lučenec **außerhalb aller dargestellten Isolinien** und somit außerhalb des nominellen Abdeckungsgebiets liegt. Im Beam EAST ist der Abstand zur Grenze der Abdeckung deutlich: Die Abdeckung ist auf die Arabische Halbinsel, den Iran, Afghanistan und Westasien gerichtet, während Mitteleuropa am nordwestlichen Rand liegt, wohin nur noch der steile Abfall des Diagramms reicht. Im Beam MENA liegt die Abdeckung um das Mittelmeerbecken und den Nahen Osten; Mitteleuropa befindet sich nördlich der äußeren Isolinie.

Weder der Hersteller noch der Betreiber gibt für dieses Gebiet einen garantierten EIRP an, sodass die tatsächlichen Werte am Empfangsort aus der Dokumentation nicht bekannt sind. Deshalb wird in dieser Studie nicht der EIRP-Wert aus dem Diagramm verwendet, sondern die aus der Messung implizierten Werte (Kapitel 9). Wichtig ist, dass der Empfang von sieben Trägern an einem so entfernten Ort erfordert, dass der Gewinn der gesamten Empfangskette nahe an der Schwelle liegt, und genau das entspricht den beobachteten kleinen Reserven.

4. Methodik des Signalmonitorings

Die Methodik beruht auf den Regeln des Autors (dxsatcs.com): Für Out-Of-Footprint-Zonen gilt eine minimale Monitoringdauer von t = 72 Stunden je Träger. Der Grund ist, dass die Aufzeichnung mehrere Tageszyklen umfassen soll (tägliche Änderung von Temperatur, Feuchtigkeit und Wind sowie eine eventuelle tägliche Variation des EIRP) und damit tatsächlich repräsentativ ist. Bei jedem Träger wurden der Lock des Empfängers und die Qualität Q (blauer Verlauf) beobachtet. Das Ausfallkriterium war eindeutig: Ein Lock-Ausfall entspricht dem Wert Q = 0.

4.1 Liste der überwachten Träger

#	Frequenz / Pol.	Beam	Inhalt	Modulation, SR, FEC	Dauer	Abtastwerte (1 Hz)
1	11 766 V	EAST	Yahlive	DVB-S, QPSK, 27 500, 7/8	72 h	259 200
2	11 842 V	EAST	Yahlive	DVB-S2, 8PSK, 27 500, 2/3	72 h	259 200
3	11 881 V	EAST	GEM Turkey	DVB-S, QPSK, 27 500, 5/6	72 h	259 200
4	11 977 H	EAST	Yahlive	DVB-S, QPSK, 27 500, 5/6	77 h	277 200
5	11 996 V	EAST	Yahlive	DVB-S, QPSK, 27 500, 7/8	72 h	259 200
6	12 072 V	EAST	Yahlive	DVB-S, QPSK, 27 500, 5/6	72 h	259 200
7	12 168 H	MENA	Du UAE	DVB-S2, 8PSK, 27 500, 5/6	73 h	262 800
	Gesamt				**510 h**	**1 836 000**

Tab. 1 – Sieben überwachte Träger. Die Anzahl der Abtastwerte ergibt sich aus der Dauer und der Abtastung mit 1 Hz (Stunden × 3 600); die Summe von 1 836 000 entspricht der Angabe des Autors.

Kontrolle der Summe: 5 × 72 h + 77 h + 73 h = 510 h; 510 h × 3 600 s/h = 1 836 000 Abtastwerte. Die vom Autor angegebene Anzahl der Messpunkte entspricht also exakt der Abtastung mit 1 Hz.

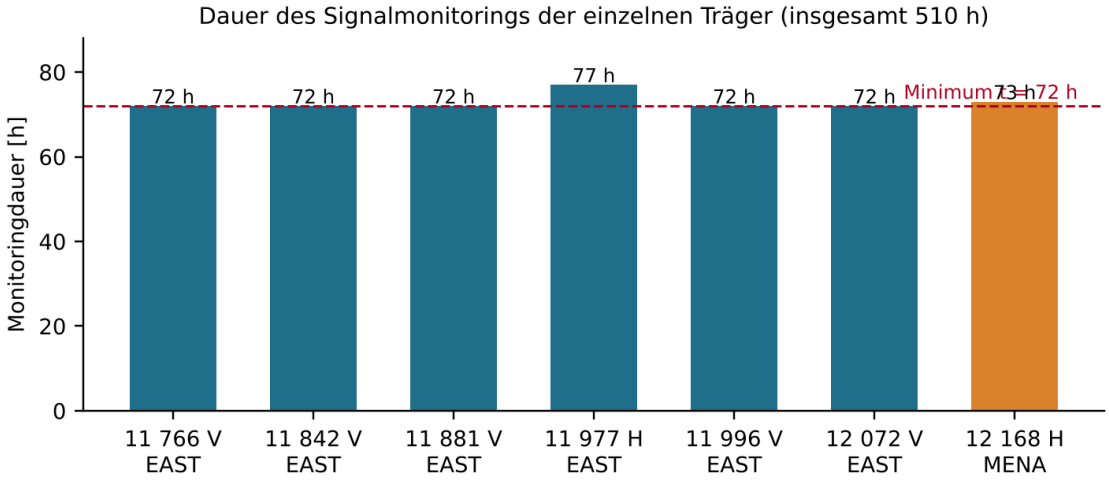


Abb. 4 – Monitoringdauer für jeden Träger. Alle Aufzeichnungen erfüllen das Minimum von 72 h für Out-Of-Footprint-Zonen.

4.2 Was die Größe von 510 Stunden bedeutet

Der Autor spricht von „einem zusammenhängenden und ununterbrochenen Verlauf stabiler Lock-Funktion“. Genauer handelt es sich um eine **Zusammenfassung von sieben durchgehenden Aufzeichnungen** (jeweils mindestens 72 Stunden), die zusammen 510 Stunden ohne Lock-Ausfall ergeben. Diese Formulierung ist für eine wissenschaftliche Publikation sicherer, weil sie nicht nahelegt, dass alle Träger gleichzeitig beobachtet wurden; nach der Summe der Dauern scheinen sie nacheinander beobachtet worden zu sein. Unabhängig davon ist jede der sieben Aufzeichnungen für sich ein eigener Beleg für ihren Träger, und ihr übereinstimmendes Ergebnis stärkt den Gesamtschluss.

5. Parameter der empfangenen Träger und ihre Schwellen

Um die Reserven über verschiedene Modulationen und Jahre hinweg vergleichen zu können, müssen sie in einer gemeinsamen physikalischen Größe ausgedrückt werden, und das ist das Verhältnis der Symbolenergie zur spektralen Rauschleistungsdichte Es/N_0. Für DVB-S2 gibt die Norm ETSI EN 302 307-1 ideale Es/N_0-Schwellen für quasi fehlerfreien Empfang an (PER = 10^{-7}); für DVB-S werden die Werte aus dem geforderten E_b/N_0 nach ETSI EN 300 421 unter Berücksichtigung der Coderate und des Reed-Solomon-Codes (188/204) abgeleitet.

Träger	System	Modulation, FEC	Ideale Schwelle Es/N_0 [dB]	Spektrale Effizienz [bit/Symbol]
11 766 V, 11 996 V	DVB-S	QPSK 7/8	≈ 8,5	1,61
11 842 V	DVB-S2	8PSK 2/3	6,62	2,00
11 881 V, 11 977 H*, 12 072 V	DVB-S	QPSK 5/6	≈ 7,9	1,54
12 168 H (MENA)	DVB-S2	8PSK 5/6	9,35	2,50

*Tab. 2 – Ideale Schwellen (AWGN, ohne Implementierungsverluste des Empfängers). Ein realer Empfänger benötigt typischerweise 0,5 bis 1,5 dB mehr. Die spektrale Effizienz von DVB-S versteht sich einschließlich RS(204,188); bei DVB-S2 ohne Pilotsymbole und Rahmenkopf. * Für 11 977 H nennt die Liste des Autors FEC 5/6, während der Vergleichsteil des Autors von 7/8 spricht (siehe Kapitel 8).*

Aus der Tabelle ergibt sich ein interessanter Schluss. Der Träger auf 12 168 H aus dem Beam MENA verwendet die Modulation 8PSK mit FEC 5/6, die unter allen sieben Trägern die höchste Schwelle hat (9,35 dB). Da bei ihm eine 73-stündige Aufzeichnung ohne Ausfall vorliegt, muss Es/N_0 in Lučenec während der gesamten Aufzeichnung **dauerhaft über 9,35 dB zuzüglich des Implementierungsverlusts des Empfängers** gelegen haben. Das ist zugleich die untere Grenze für den Signalpegel dieses Trägers, die sich

ohne weitere Annahmen aus dem Ergebnis ablesen lässt. Auf die gleiche Weise ergeben sich untere Grenzen für die übrigen Träger: ≈ 8,5 dB für QPSK 7/8, ≈ 7,9 dB für QPSK 5/6 und 6,6 dB für 8PSK 2/3.

6. Ergebnisse: Lock-Stabilität und statistische Bedeutung

6.1 Primäres Ergebnis

Bei allen sieben Trägern blieb der Lock während der gesamten Monitoringdauer erhalten, und der Wert der Qualität Q erreichte kein einziges Mal null. Die erreichte Verfügbarkeit beträgt somit beobachtete 100 % für 1 836 000 Messpunkte (510 h). Das ist ein Ergebnis, das in der Zone Out Of Footprint ungewöhnlich ist, weil der Betrieb nahe der Schwelle liegt: Schon ein kleiner Signalabfall um 1 bis 2 dB würde bei geringer Reserve zum Zusammenbruch des Locks führen. Eine solche Stabilität deutet darauf hin, dass das Signal nicht schwankt (EIRP, Antennenausrichtung und Strecke ändern sich im Verlauf von 72 Stunden nicht) und dass die Reserve über der Schwelle, auch wenn sie klein ist, dauerhaft vorhanden ist.

6.2 Statistische Auswertung

Eine Anzahl von null Ausfällen bedeutet nicht eine Ausfallwahrscheinlichkeit von null. Die Statistik liefert obere Grenzen für das Risiko. Nach der „Rule of Three“ gilt: Tritt in n unabhängigen Einheiten kein Ereignis auf, so beträgt die obere Grenze des 95-%-Konfidenzintervalls für die Wahrscheinlichkeit des Ereignisses etwa 3/n. Wählen wir als Einheit eine Stunde (und nicht eine Sekunde, da die Sekundenwerte nicht voneinander unabhängig sind), ergibt sich für den gesamten Datensatz von 510 h:

Datensatz	Stunden n	Beobachtete Ausfälle	Obere 95-%-Grenze für den Anteil der Stunden mit Ausfall	Untere Grenze der Verfügbarkeit (stündlich)
Jeder Träger einzeln (72 h)	72	0	≈ 4,2 %	≈ 95,8 %
Alle 7 Träger zusammen	510	0	≈ 0,59 %	≈ 99,41 %

Tab. 3 – Statistische Grenzen für null Ausfälle (Rule of Three, 95 %).

Die Anzahl von 1 836 000 Punkten lässt sich also nicht als 1 836 000 unabhängige Belege interpretieren. Benachbarte Sekundenwerte sind stark gekoppelt (das Signal ändert sich innerhalb einer Sekunde kaum). Unabhängige Information tragen eher die Anzahl der verschiedenen Wetter- und Tageslagen, die die Aufzeichnung abgedeckt hat; größenordnungsmäßig sind es Hunderte bis Tausende unabhängiger Intervalle, nicht Millionen. Den Wert des Datensatzes macht daher die **Länge der Aufzeichnung und die Vielfalt der Bedingungen** aus (Tag/Nacht, trocken/Regen, Temperatur), und diese hat der Autor mit dem Minimum von 72 Stunden je Träger erfüllt. Die Zahl 1 836 000 ist eine wahrheitsgemäße Angabe zur Dichte der Aufzeichnung, doch für die wissenschaftliche Argumentation sind als Hauptangabe 510 Stunden und sieben Träger anzuführen.

7. Einfluss der Wetterbedingungen

Der Autor belegt das Auftreten von Regenschauern durch Daten von shmu.sk. Physikalisch handelt es sich um den Hauptmechanismus, der den Empfang im Ku-Band verschlechtert: Regentropfen absorbieren und streuen Wellen mit einer Wellenlänge von 2,5 cm, die mit der Größe der Tropfen vergleichbar ist. Die spezifische Regendämpfung wird nach ITU-R P.838 durch eine Potenzbeziehung ausgedrückt:

$$\gamma_R = k \cdot R^{\alpha} \; [dB/km],$$

wobei R die Regenintensität in mm/h ist. Für 12 GHz gilt k ≈ 0,0246 und α ≈ 1,12 für vertikale Polarisation (ITU-R P.838-3, gerundet). Die Gesamtdämpfung erhält man durch Multiplikation mit der effektiven Weglänge im Regen. Bei einer Elevation von 26,2°, einer Höhe der Nullgradgrenze von etwa 3,1 km (ITU-R P.839) und einer Stationshöhe von 0,2 km ergibt sich ein Schrägweg durch die Regenschicht von höchstens

etwa 7,4 km; bei lokalen Schauern ist die Regenzelle kleiner, daher gebe ich auch eine kürzere effektive Strecke von 3 km an.

Intensität R [mm/h]	Charakter des Regens	Dämpfung, Strecke 3 km [dB]	Dämpfung, Strecke 7,4 km [dB]
1	leichter Nieselregen	0,07	0,18
2	leichter Regen	0,16	0,40
5	mäßiger Regen	0,45	1,10
10	stärkerer Regen	0,97	2,40
20	starker Regen	2,12	5,23

Tab. 4 – Orientierende Regendämpfung bei 11,9 GHz (vertikale Polarisation). Es handelt sich um ein Modell, nicht um eine Messung; es dient der Beurteilung der Konsistenz in der Größenordnung mit der Beobachtung.

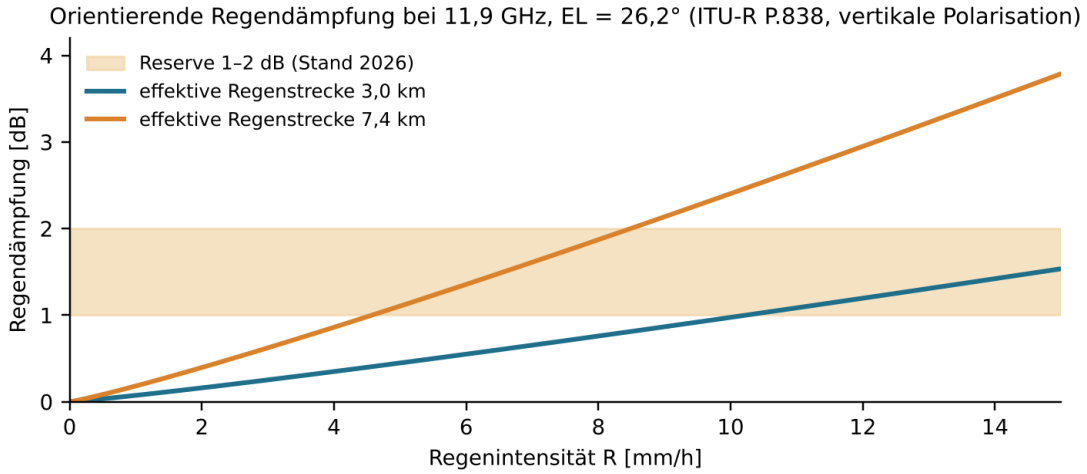


Abb. 5 – Regendämpfung in Abhängigkeit von der Intensität. Das gelbe Band stellt die Reserve von 1 bis 2 dB dar, die im Jahr 2026 auf dem Träger 11 977 H verfügbar war.

Aus dem Modell folgt, dass bei schwachem bis mäßigem Regen (bis etwa 5 mm/h) die Dämpfung größenordnungsmäßig zehntel bis ein dB beträgt. Das ist mit der Beobachtung des Autors vereinbar: Bei mäßiger Niederschlagsintensität fiel Q nicht auf null. Bei einer Intensität von 10 mm/h und mehr kann die Dämpfung bereits 1 bis 2,5 dB erreichen, was bei einer Reserve von 1 bis 2 dB zu einem Ausfall führen könnte. Die beobachtete Stabilität bedeutet daher keine Widerstandsfähigkeit gegenüber starkem Regen; sie bedeutet, dass während der Aufzeichnungen auf der Strecke kein starker Regen aufgetreten ist oder dieser kurz war.

Hinzu kommen weitere, kleinere Einflüsse: Gasdämpfung (Sauerstoff, Wasserdampf) von etwa 0,2 dB, Wolkendämpfung von Zehntel-dB und troposphärische Szintillation mit einer typischen Standardabweichung in der Größenordnung von 0,1 bis 0,3 dB, die bei niedriger Elevation leicht zunimmt. Ionosphärische Einflüsse sind bei 12 GHz vernachlässigbar.

Empfehlung für die Publikation: Zu Tabelle 1 sollten für jede Aufzeichnung die maximale 10-Minuten-Niederschlagsintensität von shmu.sk (mm/h) und die Niederschlagssumme während der Aufzeichnung ergänzt werden. Dadurch wird die Aussage „stabiler Empfang auch bei Regenschauern“ messbar und überprüfbar.

8. Stabilität des Verlaufs und Vergleich mit dem Jahr 2022

8.1 Fehlen sprunghafter Änderungen

Der Autor gibt an, dass in den Verläufen aller sieben Träger kein sprunghafter Anstieg von Leistung oder Qualität aufgetreten ist, anders als bei der Aufzeichnung von RT News auf 11 475 MHz H vom Satelliten Express AM-7 (40,0° E), wo er solche Sprünge erfasst hat. Eine Sprungänderung wird in der Praxis gewöhnlich durch Eingriffe des Betreibers erklärt (Änderung der Uplink-Leistung, Umschalten des Transponders oder Beams, Änderung der Modulation), nicht durch das Ausbreitungsverhalten der Wellen. Ein glatter Verlauf ohne Sprünge ist daher konsistent damit, dass sich die von Al Yah 1 gesendeten Träger während der Aufzeichnungen in einem stabilen Zustand befanden und dass die Änderungen nur von langsamen natürlichen Prozessen stammen (Temperatur, Feuchtigkeit, Szintillation).

Nach Angabe des Autors hat das Signalmodell für diese Wellen in Lučenec keinen dauerhaften Wellendefekt nachgewiesen, weshalb die Technologie der Synchronen Nanokorrektur, die zur Korrektur von Defekten in Out-Of-Footprint-Zonen bestimmt ist, nicht verwendet werden musste. Diese Studie bewertet weder dieses Modell noch seine Technologie; alle Schlussfolgerungen hier stützen sich ausschließlich auf direkt gemessene Verläufe von Q und Lock. Für die Fachöffentlichkeit wäre es nützlich, der Studie eine Beschreibung des Modells und die Rohaufzeichnungen beizufügen.

8.2 Vergleich 2022 und 2026 auf dem Träger 11 977 H

Die bedeutendste Feststellung des Autors ist ein langfristiger Rückgang des Signalpegels. Mit derselben Antenne (450 cm) nennt der Autor für das Jahr 2022 Signalreserven von etwa 7 bis 9 dB bei DVB-S2 QPSK, FEC 8/9, auch bei deutlich verschlechterten Bedingungen. Heute, bei geänderten Parametern DVB-S QPSK und FEC 7/8, beträgt die Reserve nur 1 bis 2 dB. Im Jahr 2022 war auf dem 300-cm-Reflektor ganztägig eine Reserve von 3 bis 4 dB vorhanden, was heute nicht mehr gilt.

Ein direkter Vergleich der Reserven von 7 bis 9 dB und 1 bis 2 dB wäre irreführend, da sie eine andere Referenzschwelle haben: Die Reserve ist immer der Abstand zur Modulationsschwelle. Deshalb rechne ich sie auf Es/N_0 = Schwelle + Reserve um:

Zustand	Modulation	Ideale Schwelle [dB]	Reserve [dB]	Geschätztes Es/N_0 [dB]
2022, PF 450 cm	DVB-S2 QPSK 8/9	6,2	7 bis 9	13,2 bis 15,2
2022, PF 300 cm (Umrechnung auf 450 cm: +3,52 dB)	DVB-S2 QPSK 8/9	6,2	3 bis 4	12,7 bis 13,7 (für 450 cm)
2026, PF 450 cm	DVB-S QPSK 7/8	≈ 8,5	1 bis 2	9,5 bis 10,5
2026, PF 450 cm (falls FEC 5/6)	DVB-S QPSK 5/6	≈ 7,9	1 bis 2	8,9 bis 9,9

Tab. 5 – Umrechnung der Reserven aus den Jahren 2022 und 2026 auf die gemeinsame Größe Es/N_0. Die Reserven stammen vom Autor; die Schwellen sind ideale Werte aus den Normen, sodass das absolute Es/N_0 mit einer Ungenauigkeit von ±1 dB behaftet ist, der Unterschied zwischen den Jahren jedoch weniger empfindlich ist, wenn der Empfänger die Reserve auf die gleiche Weise anzeigt.

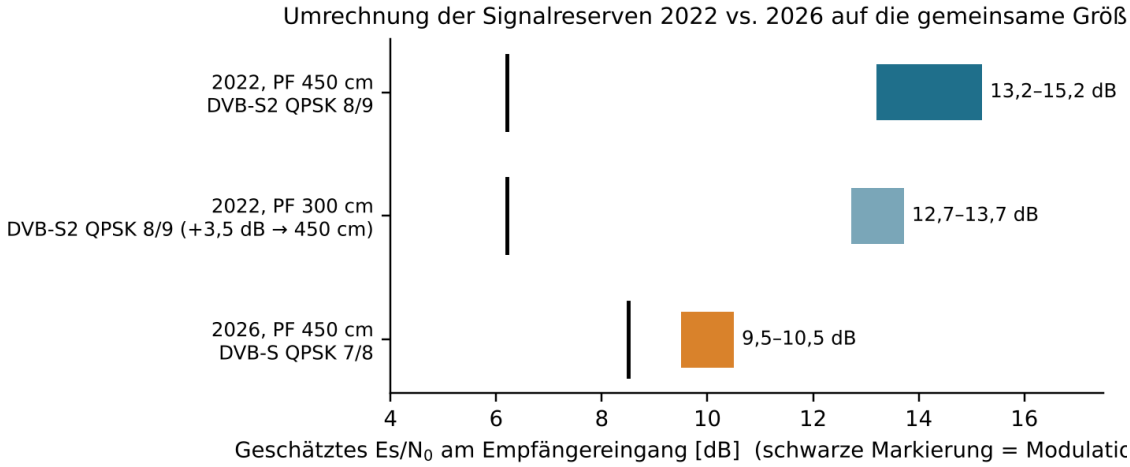


Abb. 6 – Geschätztes Es/N_0 in den Jahren 2022 und 2026. Der Rückgang beträgt etwa 3 bis 6 dB, typischerweise rund 4 dB.

Aus der Umrechnung ergeben sich drei Schlüsse. **Erstens** ist der Rückgang nicht nur eine scheinbare Folge der geänderten Modulation: Auch nach der Normierung auf Es/N_0 bleibt eine Verringerung um etwa 3 bis 6 dB (Bereich 13,2 bis 15,2 dB gegenüber 9,5 bis 10,5 dB). **Zweitens** ergibt die Aufzeichnung aus dem Jahr 2022 auf dem 300-cm-Reflektor nach der Umrechnung (+3,52 dB) 12,7 bis 13,7 dB, was nahezu der unteren Hälfte der Aufzeichnung auf 450 cm (13,2 bis 15,2 dB) entspricht. Zwei unabhängige Angaben des Autors aus dem Jahr 2022 widersprechen sich also nicht, was die Glaubwürdigkeit des Vergleichs erhöht. **Drittens** entspricht ein Rückgang um 3 bis 6 dB einem Leistungsabfall auf die Hälfte bis ein Viertel des ursprünglichen Werts und ist somit groß.

Datenkontrolle: Die Trägerliste in Kapitel 4 nennt für 11 977 H FEC 5/6, während der Vergleich in Kapitel 8 von FEC 7/8 spricht. Der Unterschied im Ergebnis ist klein (etwa 0,6 dB bei der Schwelle), doch vor einer Publikation muss die Angabe vereinheitlicht werden.

8.3 Mögliche Ursachen des Rückgangs und wie man sie unterscheiden kann

Aus den Daten selbst lässt sich nicht bestimmen, was den Rückgang verursacht hat. In Betracht kommen die folgenden Hypothesen; zu jeder nenne ich eine Kontrollmessung, die sie bestätigt oder ausschließt.

Hypothese	Beschreibung	Überprüfung
H1: Änderung des EIRP auf Seiten des Satelliten / Betreibers	Verringerung der Transponderleistung, Änderung des Backoffs, Anpassung des Beams oder der Ausrichtung des Satelliten gegenüber dem ursprünglichen Zustand; der Satellit ist seit 2011 in Betrieb, daher könnte sich auch der Betriebsmodus geändert haben.	Den Rückgang auf Trägern verschiedener Transponder und Polarisationen vergleichen; Daten des Betreibers anfordern oder mit einem anderen Beobachter in einer ähnlichen Zone vergleichen.
H2: Änderung der Satellitenbahn (Neigung)	Eine zunehmende Bahnneigung würde tägliche Schwankungen von Q und eine Änderung des Gewinns in Richtung Lučenec verursachen.	Nach einer 24-Stunden-Periodizität in Q suchen; nach Angabe des Autors treten weder sprunghafte noch periodische Änderungen auf.
H3: Alterung der Empfangskette	Verschlechterung der Rauschzahl des LNB, Feuchtigkeit in den Steckverbindern, Änderung der Speiseweiche, Verlust an Kabelgewinn.	Messung des Summenrauschens des LNB (Y-Faktor, Sonne oder kalter Himmel), Austausch des LNB, Kontrolle von Kabel und Steckverbindern.
H4: Änderung des Reflektors und seiner Ausrichtung	Mikrodeformation der Oberfläche, Verschiebung des Feeds, geringe Abweichung vom Maximum (Kap. 2.4: 0,1° ≈ 0,8 dB).	Maximum neu suchen, Brennpunkt und Polarisation kontrollieren, mit einem Referenzträger vergleichen.

Hypothese	Beschreibung	Überprüfung
H5: Änderung der Streckenumgebung	Wachstum der Vegetation oder neues Hindernis bei Elevation 26° in Richtung 139°.	Fotografische Kontrolle des Horizonts, Vergleich des Verlaufs im Winter und im Sommer.

Tab. 6 – Hypothesen zum Signalrückgang und vorgeschlagene Kontrollmessungen.

Der Autor gibt an, dass sich der rapide Rückgang in den letzten vier Jahren auf weiteren Trägern aus dem EAST-Diagramm wiederholt. Das spräche eher für Faktoren, die mehreren Trägern gemeinsam sind (H1, H3, H4), als für Phänomene, die für eine einzelne Frequenz spezifisch sind. Wäre jedoch die Empfangskette die Ursache (H3, H4), würde dies auch andere Satelliten betreffen, die mit derselben Technik empfangen werden; ein Vergleich mit einem Träger eines anderen Satelliten wäre daher der günstigste und entscheidendste Test.

9. Orientierendes Link-Budget und implizierter EIRP in Lučenec

Das Link-Budget zeigt, welcher EIRP in Lučenec vorhanden sein muss, um der Beobachtung zu entsprechen. Für einen Träger mit einer Symbolrate von 27,5 Msymb/s gilt

$$Es/N_0 = EIRP - L_{fs} - L_{sonstige} + G/T - 10\cdot\log_{10}(k) - 10\cdot\log_{10}(R_s),$$

wobei $-10\cdot\log_{10}(k) = 228{,}6$ dBW/(K·Hz) und $10\cdot\log_{10}(R_s) = 74{,}4$ dBHz. Annahmen: Antennengewinn 53,1 dBi ($\eta = 0{,}65$), Systemrauschtemperatur 80 bis 120 K (LNB, Himmel, Boden bei 26° Elevation), sonstige Verluste 0,5 dB (Gase, Ausrichtungsungenauigkeit, Polarisation).

Situation	Es/N_0 [dB]	Implizierter EIRP bei T = 80 K	bei T = 100 K	bei T = 120 K
2022 (niedrigere Schätzung)	13,2	31,2 dBW	32,2 dBW	33,0 dBW
2022 (höhere Schätzung)	15,2	33,2 dBW	34,2 dBW	35,0 dBW
2026 (niedrigere Schätzung)	9,5	27,5 dBW	28,5 dBW	29,3 dBW
2026 (höhere Schätzung)	10,5	28,5 dBW	29,5 dBW	30,3 dBW

Tab. 7 – Implizierter EIRP in Richtung Lučenec bei den gewählten Annahmen. Es handelt sich nicht um eine Messung des EIRP; die Werte dienen der Beurteilung der Größenordnung, und ihre Unsicherheit beträgt etwa ±2 dB.

Das Ergebnis zeigt, dass der EIRP in Richtung Lučenec größenordnungsmäßig 28 bis 30 dBW beträgt, was etwa 20 dB weniger ist als das Maximum des Diagramms (48 bis 51 dBW). Das steht im Einklang mit der Lage weit jenseits der Grenze der Abdeckung und zeigt, dass der Empfang in Mitteleuropa nur dank des hohen Antennengewinns möglich ist: Mit einem 300-cm-Reflektor (−3,5 dB) würde die Reserve im Jahr 2026 bei gleicher Ausrichtung unter null sinken, was der Autor in seiner Übersicht auch feststellt („nicht mehr möglich“). Diese Schätzung zeigt zugleich, warum die Verdopplung des Reflektordurchmessers (+6 dB) für ein solches Gebiet wertvoll ist: Sie entspricht dem Unterschied zwischen stabilem Empfang und dessen vollständigem Verlust.

10. Diskussion

Was die Ergebnisse stützen. Die Daten des Autors stützen zuverlässig die Aussage, dass unter den beobachteten Bedingungen sieben Träger von Al Yah 1 in Lučenec mit einem 450-cm-Reflektor ohne Lock-Ausfall während 510 Stunden empfangen werden konnten (sieben Aufzeichnungen von 72 bis 77 Stunden), und zwar auch bei gelegentlichen Regenschauern. Das physikalische Modell (Kapitel 2, 7 und 9) erklärt dieses Ergebnis ohne Widersprüche: Die Reserve über der Schwelle ist klein, aber stetig, und die Dämpfung durch mäßigen Regen ist kleiner als die Reserve.

Was die Ergebnisse nicht stützen. Sie stützen nicht die Aussage einer Widerstandsfähigkeit gegenüber starkem Regen und auch nicht, dass der Empfang in anderen Jahreszeiten oder nach einem weiteren Rückgang des EIRP ebenso stabil sein wird. Bei einer Reserve von 1 bis 2 dB liegt das System nahe der Schwelle, und ein weiterer Rückgang um einige dB würde den Empfang beenden.

Bedeutung für die Praxis. Für Beobachter in Mitteleuropa ergeben sich daraus drei praktische Schlüsse. Erstens hat **der Antennendurchmesser einen entscheidenden Einfluss**: Jede Verdopplung des Durchmessers ergibt +6 dB, 450 cm gegenüber 300 cm sind +3,5 dB. Zweitens wirken sich **die Qualität der Kette und die Ausrichtungsgenauigkeit** in einem solchen Betriebsbereich direkt auf die Reserve aus (0,1° ≈ 0,8 dB; eine Verschlechterung der LNB-Rauschzahl um 0,3 dB bedeutet ungefähr einen Verlust von 0,3 dB Reserve). Drittens ist **langfristiges Monitoring mit Dokumentation der Umgebung** (Niederschlag, Temperatur, Wind) die einzige Möglichkeit, Änderungen am Satelliten von Änderungen am Boden zu unterscheiden.

Beziehung zu anderen Satelliten. Das Beispiel Express AM-7 (40,0° E) mit einem indischen Diagramm, bei dem der Autor einen sprunghaften Anstieg von Leistung und Qualität erfasst hat, zeigt, dass Sprünge bei neuen oder sich ändernden Aussendungen üblich sind. Die gleichmäßigen Verläufe von Al Yah 1 sind daher qualitativ ein anderer Verhaltenstyp: stabil, aber auf einem niedrigeren Niveau als in der Vergangenheit.

11. Einschränkungen und Bedingungen der Reproduzierbarkeit

Damit die Studie einer fachlichen Beurteilung standhält, sind ihre Grenzen offen zu benennen:

- **Ein Ort, eine Antenne, ein Beobachter.** Die Ergebnisse gelten für Lučenec und die gegebene Anordnung (Reflektor, LNB, Empfänger). Eine unabhängige Bestätigung von einem anderen Ort oder mit einer anderen Anordnung würde den Beleg wesentlich stärken.
- **Q und Reserve sind Parameter des konkreten Empfängers.** Verschiedene Empfänger definieren sie unterschiedlich, und die Skala muss in dB nicht linear sein. Deshalb sind die Umrechnungen in Kapitel 8 orientierend; es ist sinnvoll, das Empfängermodell und die Art der Q-Anzeige anzugeben.
- **Sequenzielle Aufzeichnungen.** Die Zusammenfassung von 510 Stunden ist die Summe von sieben Aufzeichnungen, nicht ein gleichzeitiger Verlauf aller Träger (Kap. 4.2).
- **Anzahl der Abtastwerte.** Die Angabe von 1 836 000 Messpunkten drückt die Dichte der Aufzeichnung aus; das statistische Gewicht ergibt sich aus der Anzahl der Stunden und der Vielfalt der Bedingungen (Kap. 6.2).
- **Niederschlag.** Der Nachweis des Regens durch Daten von shmu.sk sollte durch eine numerische Tabelle der Intensität für jede Aufzeichnung ergänzt werden (Kap. 7).
- **Das Jahr 2022.** Die unveröffentlichten Aufzeichnungen aus dem Jahr 2022 müssen beigefügt werden (zumindest Grafiken mit Angabe von Modulation, Zeit und Ausrichtung), andernfalls ist der Vergleich nicht überprüft. Für 11 977 H ist die Angabe zur FEC zu vereinheitlichen (5/6 oder 7/8).

- **Ursache des Rückgangs.** Die Studie quantifiziert den Rückgang, kann aber seine Ursache nicht bestimmen (Tab. 6).

Empfohlenes Anlagenpaket für die Publikation: Rohlogs (CSV mit Sekundenschritt: Zeit, Q, Pegel, Lock), Foto der Anordnung und des Horizonts, Modell von LNB und Empfänger, Tabelle der Niederschläge und Temperaturen für jede Aufzeichnung, Aufzeichnungen aus dem Jahr 2022 mit Angabe der Ausrichtung.

12. Fazit

In Lučenec, das weit außerhalb des Footprints der Diagramme EAST und MENA des Satelliten Al Yah 1 liegt, gelang ein durchgehender Empfang von sieben Trägern mit dem Prodelin-Reflektor 450 cm: sechs aus dem Beam EAST und einer aus dem Beam MENA, zusammengefasst 510 Stunden (1 836 000 Abtastwerte bei 1 Hz), ohne einen einzigen Lock-Ausfall und ohne einen Abfall von Q auf null. Die physikalische Analyse zeigt, dass dieses Ergebnis konsistent ist mit der Empfangsgeometrie (AZ 139,2°, EL 26,2°, Schrägstrecke 38 962 km, Freiraumdämpfung 205,8 dB), mit einem Antennengewinn von etwa 53 dBi, mit den Schwellen der verwendeten Modulationen und mit der erwarteten Dämpfung durch mäßigen Regen.

Die Umrechnung der Aufzeichnungen aus dem Jahr 2022 auf die gemeinsame Größe Es/N_0 zeigt einen Rückgang des Signalpegels um etwa 3 bis 6 dB; die heutige stetige Reserve liegt bei etwa 1 bis 2 dB. Das System arbeitet also nahe der Schwelle, und die Lock-Stabilität ist gerade deshalb bemerkenswert, weil die Reserve klein, aber konstant ist. Eine weitere Verringerung um einige dB würde den Empfang beenden. Die Ursache des Rückgangs ist durch die in Tabelle 6 genannten Kontrollmessungen zu bestimmen.

Die Studie belegt somit, dass der Empfang in der Zone Out Of Footprint in Mitteleuropa mit einem großen Reflektor und einer hochwertigen Kette langfristig möglich ist, und zeigt zugleich, wo seine Grenzen liegen. Nach der Ergänzung der in Kapitel 11 genannten Anlagen wird es möglich sein, die Ergebnisse einer unabhängigen Überprüfung vorzulegen.

Literatur und Quellen

[1] ETSI EN 300 421: Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services (DVB-S).

[2] ETSI EN 302 307-1: 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), Part 1.

[3] ITU-R P.618: Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems.

[4] ITU-R P.838: Specific attenuation model for rain for use in prediction methods.

[5] ITU-R P.839: Rain height model for prediction methods.

[6] ITU-R P.676: Attenuation by atmospheric gases and related effects.

[7] Maral, G., Bousquet, M.: Satellite Communications Systems. Wiley.

[8] Stutzman, W. L., Thiele, G. A.: Antenna Theory and Design. Wiley.

[9] dishpointer.com – Berechnung von AZ/EL für 52,5° E (Al Yah 1 / Yahsat 1A), Lučenec; SES – Ausleuchtungsdiagramme YAHSAT 1A EAST und MENA, Ku-Band (www.ses.com); shmu.sk – Niederschlagsdaten (in die Anlagen zu ergänzen).

Anhang A – Verwendete Beziehungen

Für eine Station mit der geografischen Breite φ und Länge λ_s, einen Satelliten auf der Länge λ_{sat} und $\Delta = \lambda_{sat} - \lambda_s$ gilt ($R = 6\,378$ km, $r = 42\,164$ km):

$$\cos\gamma = \cos\varphi \cdot \cos\Delta,\quad EL = \arctan[(\cos\gamma - R/r) / \sin\gamma],\quad AZ = 180° - \arctan[\tan\Delta / \sin\varphi],$$

$$d = \sqrt{(R^2 + r^2 - 2 \cdot R \cdot r \cdot \cos \gamma)}.$$

Für Lučenec: φ = 48,3331°, Δ = 32,8336°, γ = 56,04°, woraus sich AZ = 139,18°, EL = 26,16° und d = 38 962 km ergeben. Der magnetische Azimut ergibt sich durch Subtraktion der magnetischen Deklination (≈ 6,1° östlich), was dem Wert 133,1° von dishpointer.com entspricht.

DVB-S-Schwellen: $Es/N_0 = E_b/N_0 + 10 \cdot \log_{10}(2 \cdot R_c \cdot 188/204)$, mit E_b/N_0 = 5,0 / 5,5 / 6,0 / 6,4 dB für R_c = 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 (ETSI EN 300 421, gerundet). Rule of Three: obere 95-%-Grenze für die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses bei n unabhängigen Versuchen ohne Ereignis ≈ 3/n.