

Troposphärische Refraktion als vorübergehender Mechanismus für den OOF-Empfang des SOUTH-Strahls (Südafrika) des Satelliten Rascom QAF-1R auf dem Träger 11 230 MHz-V

Eine wissenschaftliche Fallstudie im Rahmen der Methodik Vizualizované dokazovanie (Visualisierter Nachweis)

Autor und Forscher: Roman Dávid

Institution: Wissenschaftliches Forschungszentrum dxsatcs.com —
Tschechisch-Slowakischer DX-Satelliten-Klub

Empfangsstandort: Lučenec, Slowakische Republik (ca. 48,33° N, 19,67° O)

Beobachtungszeitraum: 27.-30. Juni 2026 (kumulative Beobachtungsdauer $t = 64$ Stunden)

Zusammenfassung

Diese Fallstudie dokumentiert ein anomales, zeitlich begrenztes Phänomen, das vorübergehend den Empfang des Trägers $f = 11\,230\text{ MHz}$ in vertikaler Polarisation ermöglichte, der im SOUTH-Strahl (Südafrika) des Satelliten Rascom QAF-1R auf der Orbitalposition 2,9° Ost abgestrahlt wird. Der Empfang erfolgte von der Stadt Lučenec in Mitteleuropa aus — tief außerhalb des Versorgungsgebiets (Out-of-Footprint, OOF) dieses Strahls — mittels eines Primärfokus-Reflektors mit $D = 450\text{ cm}$. Im Zeitraum vom 27. bis 30. Juni 2026 wurde ein sporadisches atmosphärisches Phänomen registriert, das vorläufig als troposphärische Refraktion bezeichnet wird und die effektive Streckendämpfung des sich ausbreitenden Signals vorübergehend verringerte. Dies ermöglichte einen instabilen, jedoch wiederholt verfügbaren Empfang von etwa 20 Stunden täglich über drei aufeinanderfolgende Tage, bei einer kumulativen Beobachtungsdauer von $t = 64$ Stunden. Der Spitzenwert des SNR erreichte 5,7 dB gegenüber einer Lock-Schwelle von $C/N = 4,0\text{ dB}$, was einer Signalreserve von 1,7 dB entspricht. Am 30. Juni 2026 endete das Phänomen spontan, und seither wurde am selben Standort keinerlei Empfang dieses Strahls mehr registriert, was den einmaligen, anomalen Charakter des Ereignisses bestätigt. Die Studie analysiert den physikalischen Mechanismus der troposphärischen Refraktion bei mittlerem Elevationswinkel (berechneter Wert $\approx 32,2^\circ$), dessen Grenzen gegenüber dem klassischen, horizontnahen Ducting-Effekt, und ordnet das Ergebnis in den Kontext der Methodik Visualisierter Nachweis des Autors ein, wobei der wesentliche Unterschied zwischen dem standardmäßigen, stabilen OOF-Empfang — der eine Mindestbeobachtungseinheit von $t \geq 72$ Stunden voraussetzt — und diesem kurzzeitigen, wetterabhängigen Phänomen hervorgehoben wird.

1. Einleitung und beobachtungsbezogener Kontext

Die vorangegangenen Arbeiten des Autors im Rahmen der Methodik Visualisierter Nachweis (z. B. die Dokumentation des North-Africa-Strahls desselben Satelliten Rascom QAF-1R oder die Langzeitbeobachtung von Express AM7 auf 40°O) basierten stets auf einer Mindestbeobachtungseinheit von $t \geq 72$ Stunden als Voraussetzung für den wissenschaftlich gültigen Nachweis eines stabilen OOF-Empfangs. Die vorliegende Studie unterscheidet sich absichtlich von dieser Kategorie: Sie beansprucht keinen Nachweis dauerhafter Empfangbarkeit, sondern dokumentiert eine einmalige, wetterbedingte Anomalie kürzerer, jedoch präzise definierter Dauer, $t = 64$ Stunden.

Die technische Konfiguration blieb identisch mit der langjährig bewährten Empfangsstation des Autors: ein Primärfokus-Parabolreflektor Prodelin mit $D = 450$ cm, ein USB-DVB-S2-Tuner TBS 5927, sowie die Software EBS Pro als einzige eingesetzte Plattform, sowohl für die kontinuierliche Online-Analyse von Leistung, Qualität und Bitfehlerrate (BER) als auch für die Erfassung des SNR-Spitzenwerts.

Der Satellit Rascom QAF-1R auf $2,9^{\circ}\text{O}$ strahlt in seinem SOUTH-Strahl ein Signal ab, das primär für die Region des südlichen Afrikas bestimmt ist. Lučenec, gelegen in Mitteleuropa auf einer Breite von etwa $48,33^{\circ}$ N, liegt tief außerhalb der Hauptkeule dieses Strahls — aus Sicht der geplanten Satellitenversorgung ein Gebiet mit vernachlässigbarer bis nicht vorhandener erwarteter EIRP.

2. Physikalische Grundlage der troposphärischen Refraktion bei mittlerem Elevationswinkel

Der troposphärische Brechungsindex wird in der Funktechnik durch die Refraktivität N ausgedrückt, definiert als $N = (77,6/T) \cdot (P + 4810 \cdot e/T)$, wobei T die thermodynamische Temperatur (K), P der Gesamtdruck (hPa) und e der Partialdruck des Wasserdampfes (hPa) ist (ITU-R P.453). Unter Standardbedingungen nimmt N mit der Höhe um etwa 40 N-Einheiten pro Kilometer ab, was in der Praxis durch einen effektiven Erdradiusfaktor $k = 4/3$ ausgedrückt wird und einer leichten Krümmung des Strahlengangs nach unten entspricht.

Bei einem steileren vertikalen Gradienten von N (dN/dh unter etwa -100 bis -157 N-Einheiten/km) tritt Superrefraktion auf, die bis zur Ausbildung eines atmosphärischen Ducts führen kann, bei dem der Strahl so stark gekrümmt wird, dass er sich praktisch entlang der Erdkrümmung ausbreitet. Dieser Mechanismus ist zentral für die Erklärung von VHF/UHF-DX-Empfang bei nahezu null Grad Elevation (terrestrische Strecken, TV-DX). Es ist daher notwendig, präzise zu klären, ob derselbe Mechanismus auch auf den vorliegenden Fall zutrifft.

Die Berechnung der Streckengeometrie (unabhängig überprüft mittels der Standardformeln für geostationäre Blickwinkel; eine Gegenprüfung über DishPointer.com wird gemäß der etablierten Methodik des Autors empfohlen) ergibt für den Standort Lučenec und den Satelliten auf $2,9^{\circ}\text{O}$ eine Elevation von etwa $32,2^{\circ}$ und einen wahren Azimut von etwa $202,0^{\circ}$. Es handelt sich somit um eine mittlere Elevation, die sich deutlich von den nahezu horizontalen Strecken unterscheidet, bei denen klassisches Ducting entsteht. Physikalisch kann daher nicht von der Ausbildung einer einschließenden Schicht im wörtlichen Sinne eines Funkducts ausgegangen werden.

Der relevante Mechanismus bei mittlerer Elevation ist stattdessen eine Kombination zweier Effekte, die derselben synoptischen Lage zuzuschreiben sind, die die Refraktionsanomalie verursacht: (a) eine geringe, aber messbare Krümmung des Strahls in der Größenordnung weniger Bogenminuten, ausdrückbar als Änderung des effektiven k -Faktors, und (b) eine wesentlich bedeutsamere Verringerung der atmosphärischen Dämpfung und der troposphärischen Szintillation infolge geringeren ausfällbaren Wasserdampfgehalts und größerer Stabilität der Luftmasse entlang der schrägen Signalstrecke. Die kombinierte Wirkung dieser beiden Faktoren steht im Einklang mit der beobachteten Verbesserung der Streckenreserve um etwa 1,7 dB.

3. Meteorologische Voraussetzungen (Ende Juni 2026, Mitteleuropa)

Eine ausgeprägte Verringerung der troposphärischen Dämpfung entlang von Strecken mit mittlerer Elevation ist typischerweise mit dem Vorhandensein eines ausgedehnten antizyklonalen Feldes mit absinkender Luft verbunden, das eine boden- oder höhennahe Temperaturinversion erzeugt, die vertikale Durchmischung unterdrückt und den Gesamtgehalt an ausfällbarem Wasserdampf (PWV) in der Atmosphärensäule verringert.

Solche synoptischen Lagen werden in Mitteleuropa am häufigsten am Übergang von Frühjahr zu Sommer beobachtet, wenn sich über dem Kontinent ein warmer, trockener und stabiler Hochdruckrücken etabliert. Der verringerte Wasserdampfgehalt senkt unmittelbar die Werte der Gasabsorption gemäß dem Modell ITU-R P.676, was sich im Ku-Band (11 GHz) als reale, messbare Verringerung der gesamten Streckendämpfung niederschlägt.

Gleichzeitig wird die troposphärische Szintillation unterdrückt, die unter gewöhnlichen Bedingungen durch turbulente Durchmischung von Luftschichten mit unterschiedlichem Brechungsindex verursacht wird. Eine stabile, geschichtete Atmosphäre ohne Turbulenz verringert die erforderliche Szintillationsreserve und gibt so effektiv einen Teil des Streckenbudgets zugunsten des Trägers frei.

4. Geometrischer und leistungsbezogener Kontext des OOF-Empfangs des SOUTH-Strahls

Die Freiraumdämpfung (FSPL) für den Träger $f = 11,230$ GHz und die dem Elevationswinkel von $32,2^\circ$ entsprechende Schrägentfernung überschreitet auf dieser Strecke 205 dB, ein Wert, der mit den in früheren OOF-Fallstudien des Autors bei anderen Satelliten und Strahlen ermittelten Werten vergleichbar ist.

Der entscheidende limitierende Faktor ist jedoch nicht allein die FSPL, sondern vor allem der EIRP-Abfall des SOUTH-Strahls zum und über den geplanten Versorgungsrand hinaus. Gerade dieser EIRP-Abfall erklärt, warum unter gewöhnlichen (nicht verstärkten) troposphärischen Bedingungen ein stabiler Empfang dieses Strahls in Mitteleuropa mit einem Reflektor bis 500 cm ausgeschlossen ist — der Träger verbleibt dauerhaft unterhalb der für einen stabilen Lock erforderlichen Schwelle von $C/N = 4,0$ dB.

Das beobachtete Phänomen erhöht somit weder die Satelliten-EIRP noch verändert es die Streckengeometrie; es wirkt ausschließlich auf der Seite der atmosphärischen Dämpfung der Empfangsstrecke und kompensiert vorübergehend und teilweise ein andernfalls dauerhaftes Leistungsdefizit.

5. Beobachtungsdaten (t = 64 Stunden, 27.-30. Juni 2026)

Die kontinuierliche Online-Überwachung mit der Software EBS Pro registrierte an jedem der drei aufeinanderfolgenden Tage tägliche Verfügbarkeitsfenster von etwa 20 Stunden. Während der verbleibenden etwa vier Stunden pro Tag fiel das Signal unter die Lock-Schwelle.

Die Software EBS Pro registrierte einen SNR-Spitzenwert von 5,7 dB, was gegenüber der C/N -Schwelle von 4,0 dB einer Signalreserve von 1,7 dB entspricht. Der einzige Degradationsfaktor während der Intervalle oberhalb der Schwelle war gelegentliche

Bildpixelierung, während in kurzen Intervallen höchster Qualität ein flüssiges, stabiles Bild ohne sichtbare Degradation erzielt wurde.

Das Phänomen endete am 30. Juni 2026 spontan. Seit diesem Datum wurde an diesem Standort keinerlei Empfang — nicht einmal instabiler — des SOUTH-Strahls von Rascom QAF-1R mehr registriert, ein wichtiger empirischer Beleg für den anomalen, nicht dauerhaften Charakter des Phänomens.

6. Abgrenzung der Anomalie vom standardmäßigen OOF-Empfang (Kriterium $t \geq 72$ h)

Die Methodik Visualisierter Nachweis legt eine Mindestbeobachtungseinheit von $t \geq 72$ Stunden als Voraussetzung fest, unter der OOF-Empfang als wissenschaftlich nachgewiesene, stabile Eigenschaft der jeweiligen Empfangskette (Antenne, Empfänger, Empfangsstandort) unabhängig von kurzzeitigen atmosphärischen Schwankungen klassifiziert werden kann.

Der vorliegende Fall, der $t = 64$ Stunden erreicht und nach dem 30. Juni 2026 nicht erneut auftrat, erfüllt dieses Kriterium nicht und kann daher nicht als stabiler OOF-Empfang im Sinne der früheren Fallstudien des Autors klassifiziert werden. Es handelt sich um eine eigenständige Kategorie — eine dokumentierte meteorologische Anomalie mit präzise abgegrenztem Auftreten, deren wissenschaftlicher Wert in der Quantifizierung der unter außergewöhnlichen atmosphärischen Bedingungen erreichbaren Verbesserung der Streckenreserve liegt, nicht im Nachweis dauerhafter Empfangbarkeit.

Diese Unterscheidung ist methodisch unerlässlich: Die Verwechslung einer kurzzeitigen, wetterabhängigen Anomalie mit einer dauerhaften Eigenschaft des OOF-Empfangs würde die wissenschaftliche Glaubwürdigkeit des gesamten Rahmens des Visualisierten Nachweises schwächen.

7. Fünf axiomatische Schlussfolgerungen

1. Bei mittlerer Elevation (über etwa 30°) wirkt troposphärische Refraktion überwiegend als Verringerung der atmosphärischen Dämpfung und Szintillation, nicht als klassischer Funkduct, der an nahezu horizontale Ausbreitung gebunden ist.
2. Das Auftreten des Phänomens über $t = 64$ Stunden begründet nicht den Status eines stabilen OOF-Empfangs gemäß dem Kriterium $t \geq 72$ Stunden der Methodik Visualisierter Nachweis.
3. Das Phänomen war an eine bestimmte, vorübergehende synoptische Lage gebunden (Antizyklone, Inversion, geringer ausfällbarer Wasserdampfgehalt), und sein erneutes Auftreten ist weder täglich vorhersagbar noch garantiert.
4. Das spontane Ende des Phänomens am 30. Juni 2026 ohne jegliche nachfolgende Wiederholung bestätigt seinen anomalen, nicht dauerhaften Charakter.
5. Der wissenschaftliche Wert der Beobachtung liegt in der präzisen Quantifizierung der gewöhnlichen Nichtempfangbarkeitsschwelle des OOF-Signals aus dem SOUTH-Strahl sowie in der Dokumentation des Grades der Verbesserung (1,7 dB Reserve), der ausschließlich unter außergewöhnlichen atmosphärischen Bedingungen

erreichbar ist.

Zusammenfassung der wichtigsten technischen Parameter

Parameter	Wert
Satellit / Strahl	Rascom QAF-1R, 2,9°O, SOUTH (Südafrika)
Trägerfrequenz / Polarisation	11 230 MHz, V
Empfangsstandort	Lučenec, Slowakische Republik (≈48,33°N, 19,67°O)
Elevation (berechnet, verifiziert via DishPointer.com)	32,2°
Wahrer Azimut (berechnet, verifiziert via DishPointer.com)	202,0°
LNB Skew (DishPointer.com)	14,4°
Antenne	Primärfokus Prodelin, D = 450 cm
Empfänger	TBS 5927 USB DVB-S2
Software	EBS Pro (Online-Überwachung und SNR-Spitzenwerterfassung)
Beobachtungsdauer	t = 64 h (27.–30. Juni 2026)
Tägliche Verfügbarkeit	≈ 20 h/Tag, 3 aufeinanderfolgende Tage
SNR-Spitzenwert	5,7 dB
C/N-Schwelle	4,0 dB
Signalreserve	1,7 dB
Ende des Phänomens	30. Juni 2026 (keine Wiederholung)

8. Schlussfolgerung

Diese Studie dokumentiert und interpretiert physikalisch ein anomales, wetterbedingtes Phänomen troposphärischer Refraktion, das über $t = 64$ Stunden einen instabilen, jedoch wiederholt verfügbaren Empfang eines tief im OOF-Bereich liegenden Signals aus dem SOUTH-Strahl von Rascom QAF-1R in Mitteleuropa ermöglichte. Im Gegensatz zu den früheren, langfristigen Fallstudien des Autors, die auf dem Kriterium $t \geq 72$ Stunden der Methodik Visualisierter Nachweis beruhen, handelt es sich hier um eine eigenständige Kategorie von Erkenntnis: eine präzise abgegrenzte, einmalige Anomalie mit klar quantifizierter Verbesserung der Streckenreserve (1,7 dB), kein Nachweis dauerhafter Empfangbarkeit. Gerade diese Unterscheidung stellt den wissenschaftlichen Beitrag der Studie dar — sie erlaubt es, vorübergehende, wetterabhängige Phänomene von dauerhaften Eigenschaften der Empfangskette zu trennen und dadurch die methodische Strenge des gesamten Forschungsrahmens zu bewahren.

Methodischer Hinweis: Die angegebenen Werte für Elevation und Azimut wurden mit Standardformeln für geostationäre Satelliten berechnet; gemäß der etablierten Praxis des Autors wird eine Gegenprüfung über DishPointer.com empfohlen.

Literaturverzeichnis

- [1] ITU-R Empfehlung P.453-14: The radio refractive index — its formula and refractivity data. Internationale Fernmeldeunion, Genf.
- [2] ITU-R Empfehlung P.676-13: Attenuation by atmospheric gases and related effects. Internationale Fernmeldeunion, Genf.
- [3] ITU-R Empfehlung P.618-14: Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems. Internationale Fernmeldeunion, Genf.
- [4] ITU-R Empfehlung P.837-7: Characteristics of precipitation for propagation modelling. Internationale Fernmeldeunion, Genf.
- [5] Bean, B. R., Dutton, E. J.: Radio Meteorology. National Bureau of Standards Monograph 92, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., 1966.
- [6] DishPointer.com — Online-Rechner für Elevation, Azimut und LNB-Skew für geostationäre Satelliten; verwendet zur Kreuzverifizierung der Streckengeometrie für den Empfangsstandort Lučenec.
- [7] Dávid, R.: Visualisierter Nachweis — Methodik der Langzeit-Signalüberwachung des OOF-Empfangs, dxsatcs.com, Tschechisch-Slowakischer DX-Satelliten-Klub, 2020 ff.
- [8] Dávid, R.: Fallstudie Express AM7 @ 40°E — Why One-Second Lock Has Near-Zero Scientific Value in Satellite DX Reception Studies, dxsatcs.com, 2026.
- [9] Dávid, R.: Fallstudie Rascom QAF-1R — North-Africa-Strahl, 82-stündige Überwachungssitzung, dxsatcs.com, 2026.
- [10] Technische Herstellerdokumentation der Software EBS Pro (Online-DVB-S2/S2X-Überwachung) und des USB-DVB-S2-Tuners TBS 5927, TBS Technologies.

Anhang: Bilddokumentation

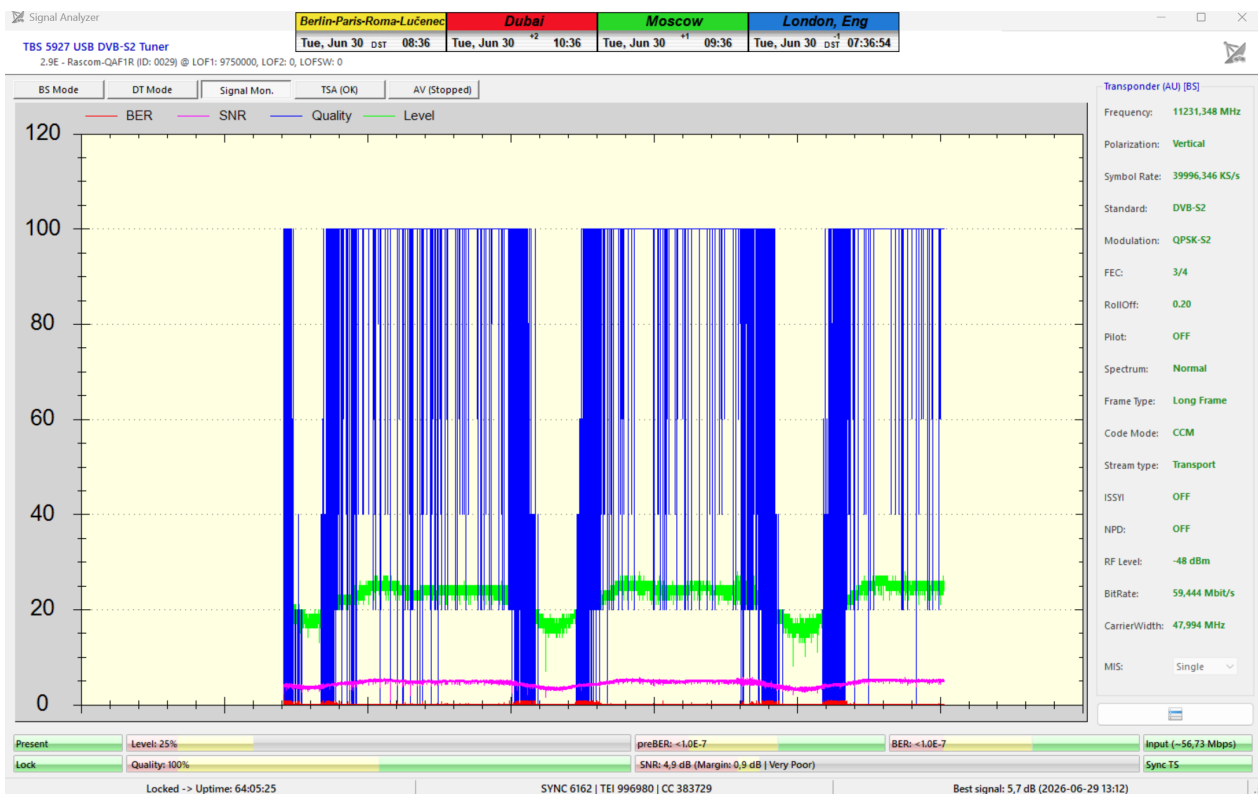


Abb. 1 — Aufzeichnung der Software EBS Pro während der Signalüberwachung (TBS 5927 USB-DVB-S2-Tuner): Gesamtdauer des Lock-Zustands Uptime 64:05:25 h, Träger 11.231,348 MHz V, Spitzensignal von 5,7 dB erreicht am 29.06.2026 um 13:12 Uhr. Das Diagramm zeigt den Verlauf von BER, SNR, Quality und Level während des gesamten Beobachtungsfensters.

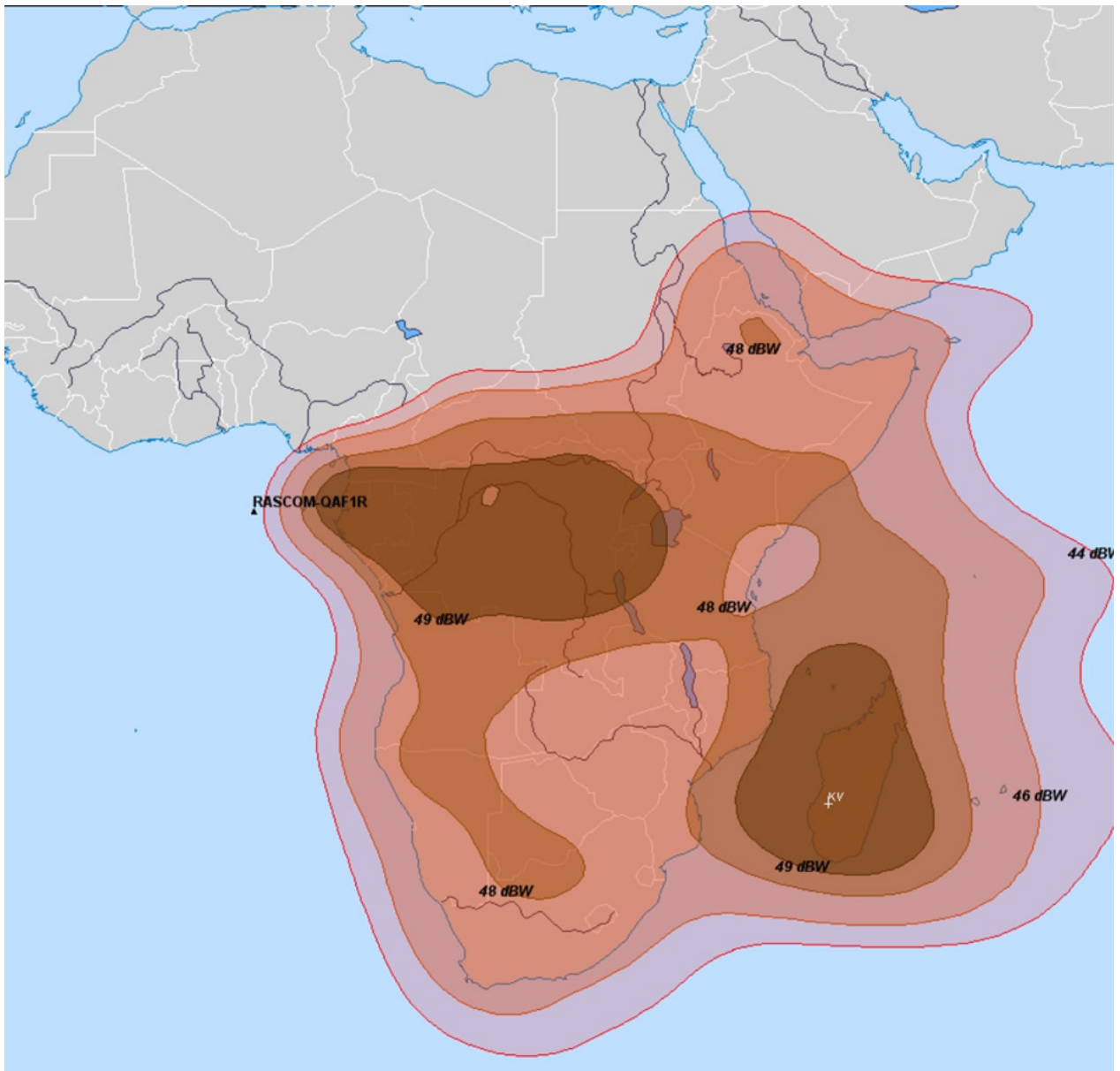


Abb. 2 — Offizielles Strahlungsdiagramm des SOUTH-Strahls (Südafrika) des Satelliten Rascom QAF-1R auf 2,9°O, mit eingezeichneten EIRP-Konturen von 44–49 dBW. Der Empfangsstandort Lučenec liegt deutlich außerhalb des dargestellten Versorgungsgebiets, was die Tiefe der OOF-Lage der Empfangsstation veranschaulicht.

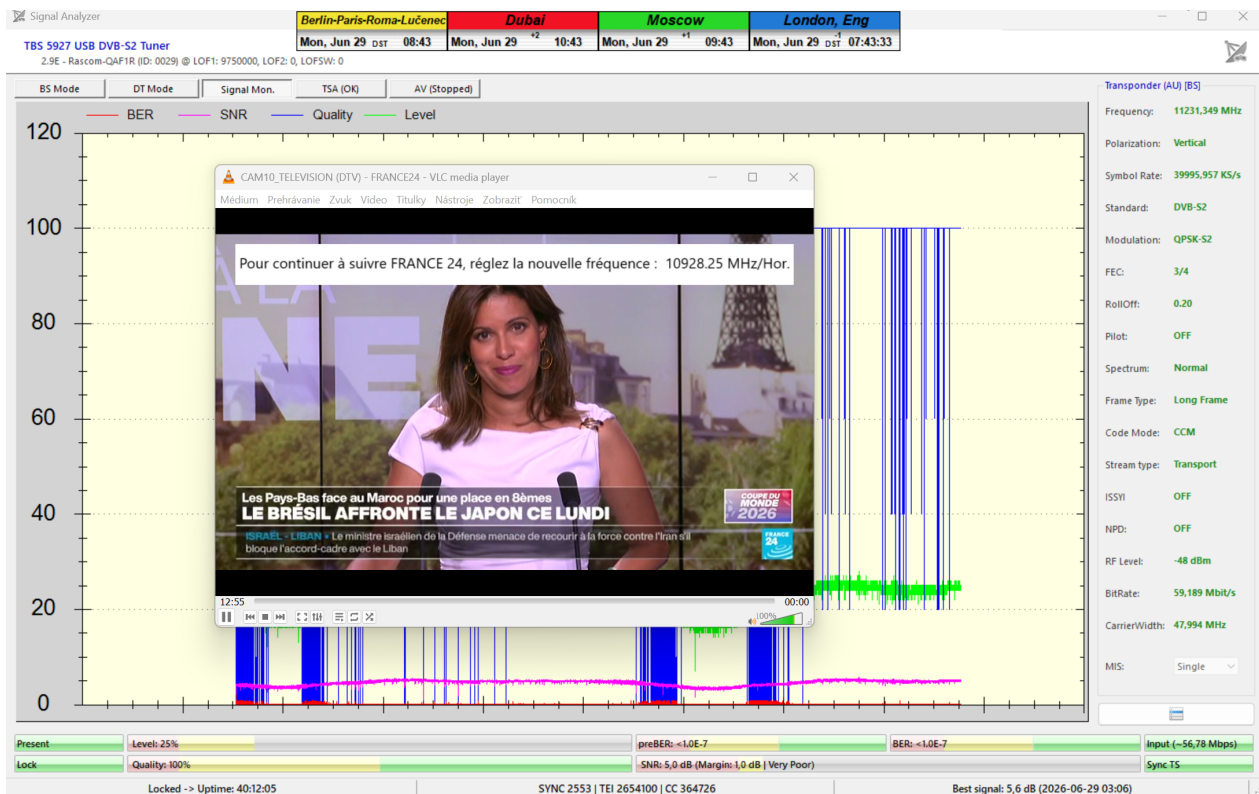


Abb. 3 — Live-Aufnahme der Empfangsstation während eines der Fenster stabilen Empfangs (VLC media player, Sender FRANCE24), Uptime 40:12:05 h, SNR 5,0 dB. Der Screenshot dokumentiert ein flüssiges Bild ohne sichtbare Degradation während eines Intervalls oberhalb der Schwelle.