

# 6 JAHRE ERFOLGREICHER TESTS UND EXPERIMENTE DES TESAT LASER COMMUNICATION TERMINALS TDP1 AUF ALPHASAT

T. Marynowski, K. Saucke, P. Martin Pimentel, F. Heine,  
Tesat-Spacecom GmbH & Co. KG, Backnang, Germany

## Zusammenfassung

Die Nutzlast „Technology Demonstration Payload 1“ (TDP1) auf Alphasat befindet sich bereits im siebten Jahr einer außerordentlich erfolgreichen Demonstration optischer Kommunikation von und zum geostationärem Orbit. Nach der eigentlichen Demonstrationsphase und Verifikation, schließt sich in 2020 bereits die dritte Betriebs- und Experimentphase des TDP1 Programms an. Das Ziel des Programms ist die Durchführung erweiterter Charakterisierungs- und der Leistungsfähigkeitsuntersuchungen der GEO – LEO, GEO - Boden und GEO - Luft Verbindungen. Dabei werden alle relevanten Systemeinflüsse auf den Laserlink berücksichtigt und untersucht. Es werden fundierte Daten für sowohl technologische als auch konzeptionelle Verbesserungen erarbeitet. Daraus ergeben sich weitere Potentiale für neue Nutzungsszenarien der Laser Communication Terminals (LCTs).

Es wird das TDP1 Programm mit seiner einzigartigen Infrastruktur vorgestellt, die hervorragende Möglichkeiten für die Erprobung und Verifikation kommerzieller Entwicklungen sowie die Gewinnung wissenschaftlicher Daten bietet.

## 1. DAS TDP1 PROGRAMM

Das seit 2014 laufende TDP1 Programm wird vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt gefördert und dient der Demonstration und Weiterentwicklung der optischen Kommunikationstechnologie. Das Gesamtsystem des Programms umfasst folgende Segmente:

Die Technologiedemonstrationsnutzlast TDP1 [1] auf dem 2013 gestarteten Alphasat Satelliten (25° Ost), besteht aus einem Laserkommunikationsterminal (LCT) zur Laserkommunikation mit anderen LCTs auf Satelliten, Bodenstationen sowie luftgestützten Plattformen und einer Ka-Band Antenne als Relais der optisch empfangenen Nutzerdaten oder von Telemetrie (TM) in originaler Datenrate.

Das TDP1 Missionsplanungs- und Betriebssystem für die TDP1 Experimente beim Deutschen Raumfahrt-Kontrollzentrum (GSOC German Space Operations Center des DLR) in Oberpfaffenhofen [1].

Die Ka-Band Datenempfangsstation des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums (DFD) des DLR in Oberpfaffenhofen, zur Aufzeichnung von Nutzerdaten.

Die mit adaptiver Optik ausgestattete transportable Bodenstation (T-AOGS), bisher stationiert auf dem Gelände des Instituts für Astrophysik der Kanaren (IAC) auf Teneriffa. Momentan zur Überholung wieder zurück in Kontinentaleuropa [3][4][5][6].

Weitere Partner sind das TDP ESA Coordination Office (TECO), das für die Koordination, Aktivitätsoptimierung der Technologiedemonstratoren und die Archivierung deren TM Daten zuständig ist und Inmarsat als Betreiber des Alphasat Satelliten. Darüber hinaus bestehen langfristige und sehr erfolgreiche Kooperationen mit der

optischen Bodenstation der ESA (ESA-OGS) und dem europäischem Copernicus Programm, das eine Flotte von bisher vier Sentinel Satelliten im LEO als Kommunikationspartner für regelmäßige Links bietet. Die Sentinels übertragen ihre Daten mit den Tesat LCTs zu den GEO Satelliten des Europäischen Daten Relais Systems (EDRS). In Summe kann Tesat bereits auf 42.000 erfolgreiche optische Links zurückblicken [7].

Der laufende Auftrag des TDP1 Programms besteht aus Untersuchungen zur erweiterten Charakterisierung des Terminals sowie auch der optischen Kommunikation und dem Ausloten der Leistungsfähigkeit aller Kombinationen der Kanäle zwischen GEO, LEO, Boden und Luft. Alle relevanten Systemeinflüsse auf den Laserlink werden untersucht, um Daten für technologische und konzeptionelle Verbesserungen bereitzustellen, mit denen auch neue Nutzungsszenarien erschlossen werden sollen.

Mit ihrem experimentellen Charakter sind sowohl das TDP1 als auch die T-AOGS, als Teil einer einzigartigen Infrastruktur, hervorragende Werkzeuge für wissenschaftliche Experimente sowie kommerzielle Aufgaben. Die Bereitstellung dieser Möglichkeiten spielt für industrielle Entwickler eine zunehmend große Rolle, denn das große Potential der optischen Kommunikation im Orbit wird mit der industriellen Marktreife der LCTs erschlossen und ausgebaut. Aber auch wissenschaftliche Institute zeigen weiter zunehmendes Interesse an den Möglichkeiten des TDP1 Systems. Somit verzeichnete das TDP1 LCT bis 2020 eine Gesamtzahl von ca. 2.500 Links, davon die Mehrzahl mit den LCTs auf den Sentinel Satelliten sowie der Bodenstation T-AOGS.

Die Vorrangigen Themengebieten des TDP1 sind:

Vermessung/Modellierung des optischen Kanals durch die Atmosphäre und „Burst Error“ Korrektur und Kodierung, die mit dem Partner DLR Institut für Kommunikation und Navigation (IKN) untersucht wurden [8].

Untersuchungen zum Quantenschlüsselaustausch (Quantum Key Distribution, QKD) mit dem Max Planck Institut Erlangen [9].

Optische Feederlink Untersuchungen, also die Übertragung von gebündelten Datenmengen, um ein Aufstauen der gesammelten Daten zu vermeiden und diese zeiteffizient bereitzustellen.

Partner bei Inbetriebnahmen neuer LCTs im Orbit, wie der LEO Sentinel Satelliten [10] des Europäischen Copernicus Programms [11].

Erprobung von Neuentwicklungen, wie luftgestützter LCTs bestimmt für bemannte und unbemannte Flugzeuge. Bisher mit industriellen Partnern [12].

Standortcharakterisierung, die zur Untersuchung von „site diversity“ beiträgt, also der Erhöhung der Verlässlichkeit von optischer Kommunikation durch die Atmosphäre durch Wahl von verschiedenen Standorten für Bodenstationen.

Für viele dieser Aufgaben ist das detaillierte Verhalten der Systeme von hohem Interesse und eine entsprechend hohe Auflösung der TM von Vorteil. Hier bietet das TDP1 die Bereitstellung von 25kHz TM über die Ka-Band Antenne aufgezeichnet beim DFD, was technische Analysen und Erfassung von aussagekräftiger Statistik ermöglicht. Darüber hinaus werden Updates der Flugsoftware durchgeführt, die neue Funktionalitäten des TDP1 LCTs ermöglichen. Dadurch kann den Bedürfnissen von Entwicklern und Wissenschaftlern mit neuen, bisher nicht berücksichtigten Vorschlägen, entsprochen werden. Bei TDP1 wurden Updates bereits in 2018 erfolgreich demonstriert und sorgten u.a. durch neue Funktionen für neue Experimentiermöglichkeiten sowie Verbesserungen. Es wird angestrebt die Flugsoftware regelmäßig im Jahresrhythmus zu aktualisieren und so das Potential ständig zu erweitern.

## 2. EXEMPLARISCHE DATEN DES TDP1

Um maximalen Nutzen aus den Zahlreichen gesammelten Daten der Flugeinheiten im Orbit zu generieren, hat Tesat das Long Term Performance Analysis Werkzeug (LTPA) entwickelt [13]. Damit können die Daten prozessiert und visualisiert werden, womit wiederum systematisch Designannahmen verifiziert, Einstellungen optimiert, präventive Maßnahmen zur Vermeidung von Anomalien ermittelt und Designverbesserungen festgestellt werden können. Insgesamt ergibt sich eine zugängliche solide Datenbasis, die Entscheidungen zu LCTs ermöglicht.

Zwei wichtige der zahlreichen Datensätze sollen im Folgendem exemplarisch dargestellt werden. Die elektrische Leistungsaufnahme und das thermische Verhalten des hemisphärischen Pointers „Coarse Pointing Assembly“ (CPA).

### 2.1. Daten der elektrischen Leistungsaufnahme

Die in BILD 1 dargestellten Daten zeigen die elektrische Leistungsaufnahme verschiedener operationeller Zustände des TDP1 LCTs von 2014 bis 2020. Entsprechend dem Design ist die elektrische Leistungsaufnahme im Standby Modus (Grün) über die Jahre stabil bei 110W. Dargestellt in Blau, sind die höheren Leistungsmoden des LCTs, wie z.B. Akquisition, Tracking und Kommunikation, bei denen potentiell der Laser in Betrieb ist. Es zeigen sich den verschiedenen Moden und Laserleistungen zuordenbare Datengruppen in einem Bereich zwischen 115W-160W. In BILD 2 sind die erwarteten Durchschnittswerte als durchgezogene Linien bis zum EOL in 2029 dargestellt. Die höheren Leistungsmoden nahmen bis 2020 um ca. 3W zu und zeigen gegenüber den erwarteten Werten eine leicht höhere Zunahme, die jedoch klein und unkritisch ist.

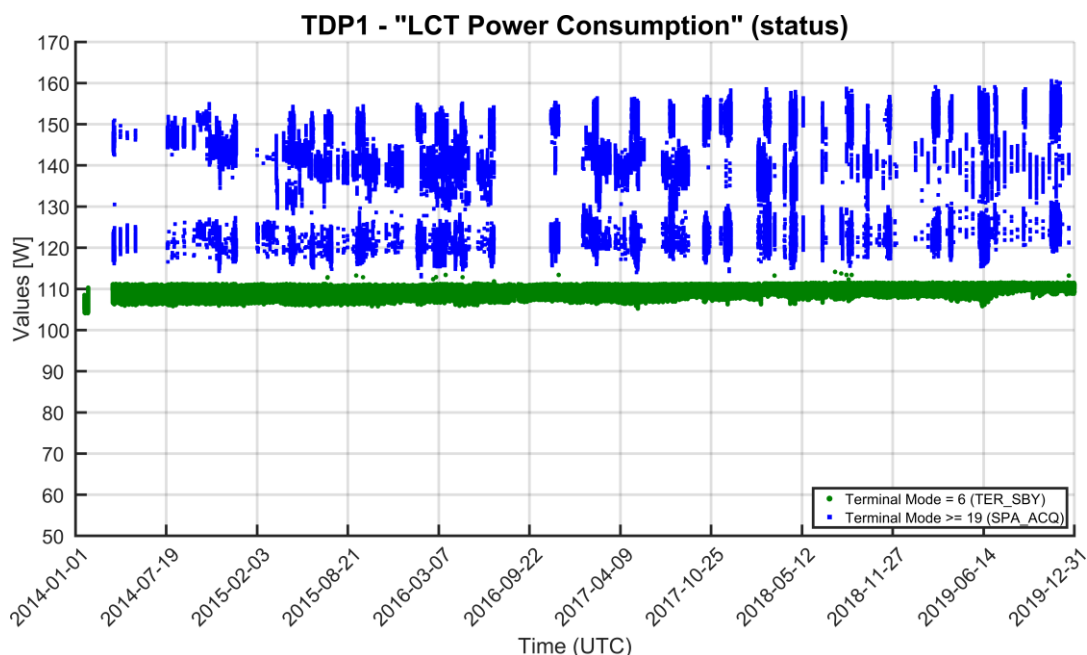


BILD 1. Elektrische Leistungsaufnahme des TDP1 LCTs von 2014 bis 2020.

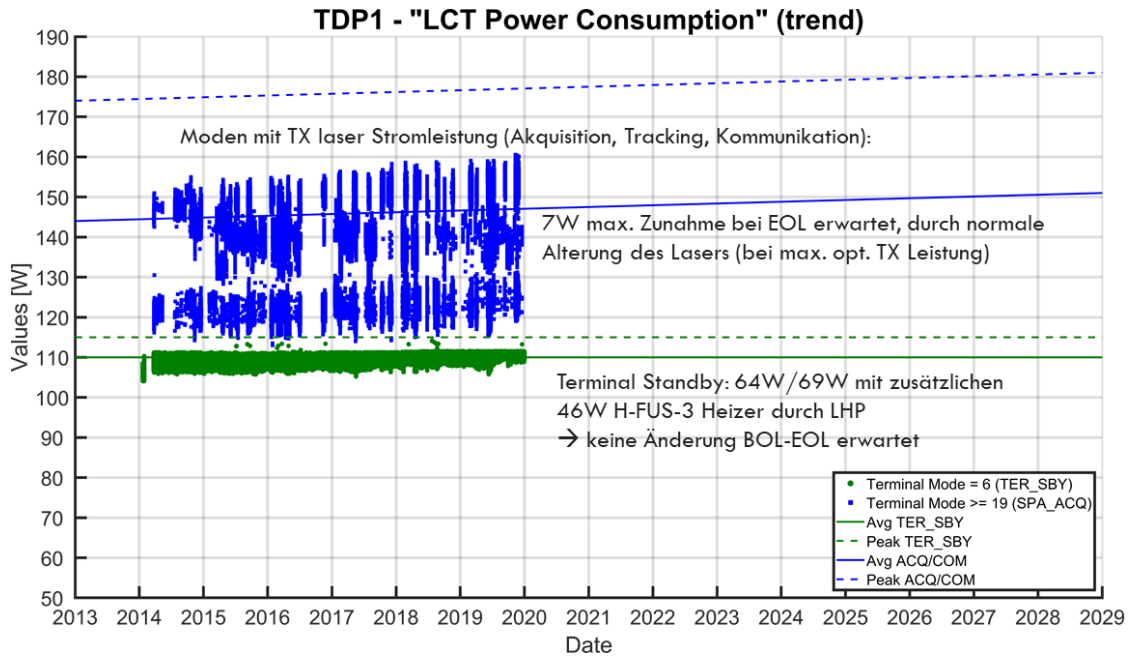


BILD 2. Trend des Stromleistungsverlaufs des TDP1 LCTs von 2014 bis 2020.

## 2.2. Thermaldaten des TDP1 CPA

Die Temperatur für den Einsatzbereich des CPAs wurde zwischen ca.  $-28^{\circ}\text{C}$  und  $+60^{\circ}\text{C}$  erwartet und wird überwacht. BILD 3 zeigt den Temperaturverlauf des TDP1 CPA für den Zeitraum von 2014 bis 2020. Es ist ein breiter Korridor von Daten im Bereich zwischen  $17^{\circ}\text{C}$  und  $37^{\circ}\text{C}$  zu sehen. Dabei handelt es sich um die normale tägliche Oszillation der Temperatur des CPAs entsprechend einem geostationärem Orbit, die hier in der Darstellung über 6 Jahre nicht aufgelöst wird. Die kleinen nach oben und unten gerichteten Spitzen zeigen Aktivitäten des CPAs, die ihn entsprechend der Sonne oder Schatten aussetzen, was auf intensive Tests im

Orbit oder Kampagnen mit der Bodenstation schließen lässt, denn für den Betrieb muss das CPA aus der schützenden Parkposition geholt werden. Bei den zwei großen Spitzen nach unten handelt es sich um Aktivitäten, bei denen das TDP1 abgeschaltet war und somit ein Abkühlen des CPA auf unter  $0^{\circ}\text{C}$  erfolgte. Die runden halbkreisförmigen Formen der oberen Seite der Daten zeigen die Zeiten der Eklipsen, bei denen die zu- und dann abnehmende Abschattung der Sonne eine entsprechende leichte Abkühlung bewirkt. Insgesamt ist ein leichter steigender Trend von ca.  $3^{\circ}\text{C}$  bis 2020 zu sehen, der weit innerhalb der Spezifikationen liegt.

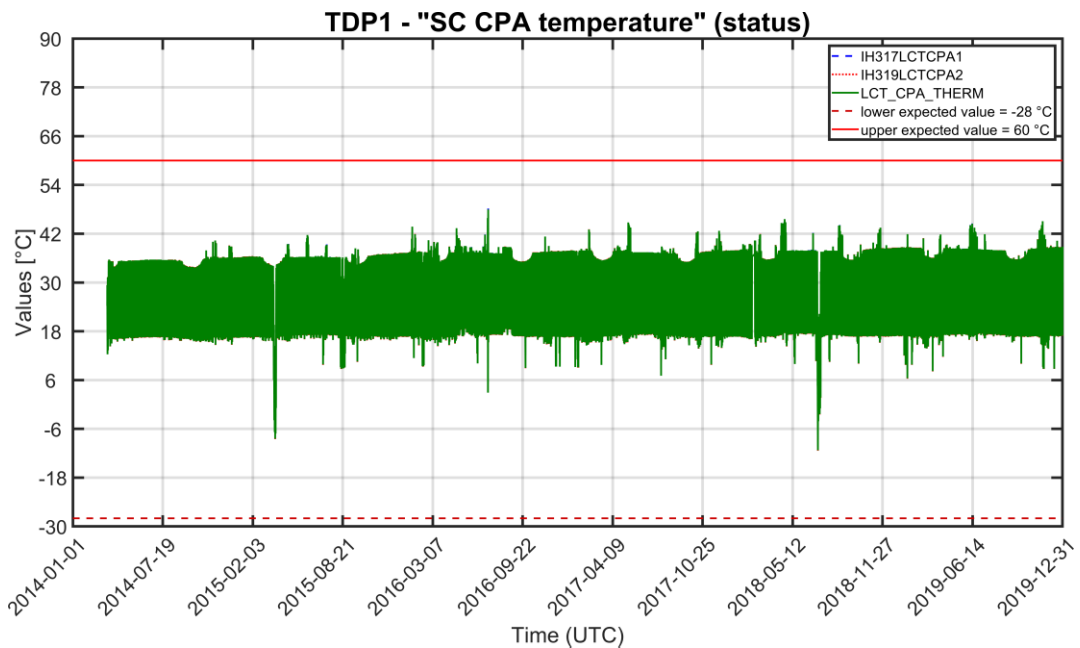


BILD 3. TDP1 CPA Temperaturverlauf, 2014-2020.

### 3. ZUSAMMENFASSUNG

Das TDP1 Programm ist ein äußerst erfolgreiches Programm zur Demonstration und Verifikation der Optischen Kommunikationstechnologie. Es befindet sich nun in der Phase der erweiterten Charakterisierung und weiterführender Experimente. Mit der umfassenden, einzigartigen Infrastruktur im Orbit und am Boden, ist es ein hervorragendes Werkzeug für den Test, Erprobung und Weiterentwicklung von kommerzieller optischer Kommunikationstechnologie sowie Gewinnung wissenschaftlicher Daten. Das TDP1 Programm zeichnet darüber hinaus verantwortlich für zahlreiche Weiterentwicklungen und Verbesserungen der bestehenden LCTs, die u.a. durch die gewonnenen Daten, wie sie hier exemplarisch dargestellt wurden, ermöglicht werden.

### 4. DANKSAGUNG

Wir danken dem Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR e.V.), in dessen Auftrag die Aktivitäten im TDP1 Programm mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter der Förderkennzahl 50 YH 2001 durchgeführt werden. Das TDP1 Programm wird durch ESA und Inmarsat unterstützt.

### 5. REFERENZEN

[1] D. Tröndle, H. Zech, F. Heine, H. Kämpfner, M. Motzigemba, "Laser-Kommunikation im Weltraum, Ein neues Kapitel für Erdbeobachtungsmissionen", DLRK Augsburg, 2014

[2] G. Rossmann, S. Kuhlmann, B. Grishechkin, B. Schlepp, J. Pitann and D. Troendle. "Laser Communication in Space: The TDP-1 Mission Control Center and its current operational experiences". 14<sup>th</sup> International Conference on Space Operations, Daejeon, Korea. AIAA 2016-2522.

[3] K. Saucke, R. Mahn, P. Martín Pimentel, F. Heine, R. Mata-Calvo, J. Surof, R. Barrios, A. Reeves, H. Bischl, H. Brandt, B. Matuz, "3 Years of Optical Satellite to Ground Links with the T-AOGS: Data Transmission and Characterization of Atmospheric Conditions". ICSSO Chania, Greece 2018.

[4] F. Heine, K. Saucke, D. Troendle, M. Motzigemba, H. Bischl, D. Elser, C. Marquardt, H. Henniger, R. Meyer, I. Richter, Z. Sodnik, "Laser based bi directional Gbit ground links with the Tesat transportable optical ground station", SPIE LASE, San Francisco, California, United States 2017

[5] R. Mahn, K. Saucke, J. Woicke, T. Marynowski, P. Martín Pimentel, F. Heine, "Durchführung von optischen Satellit-zu-Boden Links: Linkstatistik und Wetterauswertung aus fünf Jahren Betrieb der T-AOGS", DLRK 2020 (Aachen) (noch nicht veröffentlicht)

[6] K. Saucke, C. Seiter, F. Heine, M. Gregory, D. Tröndle, E. Fischer, T. Berkefeld, M. Feriencik, M. Feriencik, I. Richter, R. Meyer. "The TESAT transportable adaptive

optical ground station", SPIE Photonics West, Proc. SPIE 9739, p. 973906, Eds. H. Hemmati, D. Boroson (San Francisco).

[7] F. Heine, A. Sanchez-Tercero, P. Martín Pimentel, N. Hoepcke, D. Hasler. "In Orbit Performance of Tesat LCTs". SPIE Photonics West San Francisco, United States 2019

[8] Heine, H. Brandt, H. Bischl, J.-H. Lafrenz, F. Riffel, "TPD1-testbed applications: Packet-Level-Coded data transmission verification through atmosphere via optical Satellite-to-Ground-Links", DLRK2019 Darmstadt

[9] K. Günthner, I. Khan, D. Elser, B. Stiller, Ö. Bayraktar, C. Müller, K. Saucke, D. Tröndle, F. Heine, S. Seel, P. Greulich, H. Zech, B. Gütlich, S. Philipp-May, C. Marquardt, and G. Leuchs, "Quantum-limited measurements of optical signals from a geostationary satellite," Optica 4, 611-616 (2017).

[10] F. Heine, P. Martín Pimentel, H. Kaempfner, G. Muehlnikel, D. Troendle, H. Zech, C. Rochow, D. Dallmann, M. Reinhardt, M. Gregory, M. Lutzer, S. Philipp-May, R. Meyer, E. Benzi, P. Sivac, M. Krassenburg, I. Shurmer, U. Sterr "Alphasat and Sentinel 1A, the first 100 links", ICSSOS 2015 (New Orleans).

[11] F. Heine, D. Tröndle, C. Rochow, K. Saucke, M. Motzigemba, R. Meyer, M. Lutzer, E. Benzi, H. Hauschildt "Progressing towards an operational optical data relay service", SPIE Photonics West 2017 (San Francisco).

[12] P. Martín Pimentel, N. Hoepcke, K. Saucke, R. Mahn, T. Marynowski, F. Heine, R. Meyer, M. Lutzer, "Expanding Optical Communication Capabilities " Ka-Conf/ICSSC 2018 Niagara Falls, Canada 2018.

[13] T. Marynowski, A. Sanchez-Tercero, N. Hoepcke, P. Martín Pimentel, K. Saucke, F. Heine, "TPD1 Laser Communication Terminal Performances and Trend Analysis: 5 Years of Service ", 25th Ka and Broadband Communications Conference, Sorrento, Italy, 2019

### 6. KONTAKT

Thomas Marynowski  
TDP1 Program Manager  
LCT in Orbit Services  
Tesat-Spacecom GmbH & Co. KG  
Gerberstraße 49  
71522 Backnang  
[Thomas.Marynowski@tesat.de](mailto:Thomas.Marynowski@tesat.de)