

Satellitenbetrieb lässt sich lernen

Der Spacecraft Operations Course am GSOC

1 Einführung

Wie werden Satelliten gesteuert? Muss man die steuern? Ist das schwer? Nahezu jeder hat ein Bild von einem Raumfahrtkontrollzentrum vor seinem geistigen Auge. Und seien es die Bilder aus den Apollo-Tagen oder von der D2 Mission Anfang der 90er. Die Kurzfassung der Antworten ist, man braucht Kontrollzentren, ja, Satelliten muss man steuern und ja, Betrieb ist eine eigene Disziplin. Aber auch: jeder kann und sollte verstehen um was es dabei geht

Das Deutsche Raumfahrtkontrollzentrum GSOC des Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt betreibt seit über 50 Jahren Satelliten und hat in dieser Zeit ein enormes Wissen aufgebaut und angesammelt. Es ist international als Kompetenzzentrum anerkannt und steht für hochwertigen, verlässlichen Betrieb. Moderne Beispiele sind das COLUMBUS-Modul an der ISS, TerraSAR-X/TanDEM-X, EDRS sowie SatcomBW. Besonders für neuartige und komplexe Missionen ist hier das komplette Know-How für alle Betriebsphasen vorhanden.

In der Zusammenarbeit mit Kunden, Wissenschaft und Industrie haben wir schon früh die Erfahrung gemacht, dass oft davon ausgegangen wird, dass alle notwendigen Kenntnisse, auch über die betrieblichen Aspekte, bei der Industrie, den Forschungsinstituten und den Programmmanagern der Agenturen vorhanden sind und für Kunden und Nutzer nebensächlich sind. Jedoch passiert es häufig, dass wichtige Aspekte vernachlässigt und wertvolle Lektionen vergessen oder ignoriert wurden. Aufgrund des Prototyp-Charakters von Raumfahrtmissionen ist es in der Regel zu spät oder zu kostspielig, Korrekturen in einem späten Projektstadium oder sogar nach dem Start im Orbit vorzunehmen. Alle Mängel müssen dann vom Betriebsteam korrigiert oder geändert werden und führen zu verminderten Fähigkeiten oder erhöhten Kosten oder beidem.

Ein Grund für die Vernachlässigung des Betriebswissens ist sicherlich die Tatsache, dass an Raumfahrtlehrstühlen der Betrieb lange Zeit nicht gelehrt oder betrachtet wurde.

In dieser Situation kam 1999 am GSOC die Idee auf, einen auf den Betrieb spezialisierten Lehrgang zu schaffen. Als Vorbild diente der *Space Systems Engineering Course* [1] an der University of Southampton, die diesen Kurs seit 1974 anbietet. Allerdings wurde dort das Thema Raumfahrtbetrieb nur in einer kurzen Vorlesung behandelt. Die Idee war, einen neuen Kurs zu schaffen der sich auf Space Operations konzentriert. Wie beim *Systems Engineering*-Kurs sollte der Teilnehmerkreis offen und für jeden sein. Das Wissen sollte umfassend sein, aber auf einem Überblicksniveau, sowie direkt auf konkreten Aufgaben und Projekten in unserem Kontrollzentrum basieren. Ziel war es, die Aufgaben und Verantwortlichkeiten zu zeigen, die Methoden des Projektmanagements darzulegen und schließlich den Teilnehmern die Möglichkeit zu geben, durch praktische Übungen den Arbeitsalltag in einem Raumfahrtkontrollraum zu erleben.

Dieser Kurs findet seither mindestens einmal pro Jahr am GSOC statt und erfreut sich zunehmender Nachfrage und Beliebtheit. In diesem Beitrag stellen wir das Kurskonzept vor und beschreiben die Erfahrungen bei der Umsetzung, die Rückmeldungen aus dem Teilnehmerkreis sowie die

durchgeführten Weiterentwicklungen im Laufe der Zeit. Im Ausblick stellen wir die möglichen Weiterentwicklungen dar.

2 Der "klassische" Kurs

Das ist der Kurs in seiner ursprünglichen allgemeinsten Form so wie er entstand und er auch heute noch angeboten wird. Dieser Kurs ist umfassend und verlangt kein spezifisches Vorwissen.

2.1 Format

Der Kurs erstreckt sich über fünf Tage; eine Woche voller Vorlesungen, Exkursionen und Übungen. Insgesamt stehen 22 Lerneinheiten auf dem Programm. Die Teilnahme ist auf 18 Personen begrenzt. Dies liegt vor allem daran, dass einige der Übungen in eigens dafür vorgesehenen Betriebsräumen mit begrenzter Größe durchgeführt werden und dass es besser ist, wenn ein Trainer nicht mehrere Personen gleichzeitig anleitet und betreut, um die Qualität aufrechtzuerhalten. Dies führt auch zu einer überschaubaren Teilnehmerzahl und schafft eine Seminaratmosphäre, in der die Teilnehmer aufmerksamer sind und auch mehr Fragen stellen.

Spacecraft Operations Course October 2022

	Monday (10.10.)	Tuesday (11.10.)	Wednesday (12.10.)	Thursday (13.10.)	Friday (14.10.)
F	8:30 - 9:00 Registration		8:00 - 9:00 Bus transfer OP → WHM		
L	9:00 - 9:30 Welcome & Introduction	9:00 - 10:00 AOCS Ops	9:00 - 10:00 Ground Station Design & Ops.	9:00 - 10:30 Interplanetary Operations (ESOC)	9:00 - 10:00 CubeSat Operations (CNES)
L	9:30 - 10:30 Space Environment	10:15 - 11:15 Orbital Dynamics	10:00 - 11:15 Tour at Weilheim Ground Station	10:45 - 11:45 Power/Thermal	10:15-14:15 Simulation including lunch break
L	10:45 - 11:45 Mission Ops Preparation	11:30 - 12:30 Attitude Dynamics	11:15 - 12:00 Bus transfer WHM → OP	12:00 - 13:00 Human Spaceflight Ops	
S	12:00 - 13:00 Lunch Buffet	12:30 - 13:30 Lunch Buffet	12:00 - 13:00 Lunch Buffet	13:00 - 14:00 Lunch Buffet	
F	13:00 - 14:15 Tour at O'hofen Control Center	13:30 - 14:00 Console Intro	13:00 - 14:45 SIM Intro (Team 1) Flight Dynamics (Team 2) Mission Planning (Team 3)	14:00 - 15:45 SIM Intro (Team 2) Flight Dynamics (Team 3) Mission Planning (Team 1)	
L	14:30 - 15:30 Mission Ops Execution	14:00-16:45 FOP Exercise including coffee break	15:00 - 16:45 SIM Intro (Team 3) Flight Dynamics (Team 1) Mission Planning (Team 2)	16:00 - 17:15 VoCS Training	14:30 - 15:30 Closing Remarks
L	15:45 - 16:45 Ground Data Systems				
L	17:00 - 18:00 Flight Procedures	17:00 - 18:00 Mission Planning	17:00 - 18:00 Repeater Ops (external lectures)	17:30- 18:30 On-Orbit Servicing	
F	18:00 - 20:00 Welcome Reception			19:00 Social Event	Locations: F = Power L = Lecture Room (Red Salon) S = SIM-Hall W = Weilheim K1 = Control Room K1 K2a = Control Room K2a 005b = Room 005b

Abbildung 1: Kursplan

Abbildung 1 zeigt einen typischen Kursplan. Der Kurs umfasst 16 Vorlesungen, 2 Besichtigungen und 6 Übungen. Wir haben die Übungen auf den frühen Nachmittag gelegt, um die Müdigkeit nach dem Mittagessen auszugleichen. Ein recht früher Beginn ist für die lange Busfahrt zur DLR-Bodenstation in Weilheim erforderlich, die 45 Minuten südlich unseres Kontrollzentrums liegt. Die Vorlesungen werden durch Kaffeepausen unterbrochen, auch um die interaktiven Kontakte zwischen den Teilnehmern zu fördern und ihnen die Möglichkeit für zusätzliche Diskussionen mit dem Dozenten zu geben. Wir legen die eher einführenden Lektionen an den Anfang der Woche und einige Übungen setzen voraus, dass man eine bestimmte Vorlesung bereits gehört hat.

Die Themen decken ein breites Spektrum ab, von Missionsmanagement, Bodensystemdesign, Missionsbetrieb, Missionsplanungssoftware bis hin zur Raumfahrtynamik.

Ein Begrüßungscocktail am Montag dient als Eisbrecher und ein gemeinsames Abendessen am Donnerstagabend rundet den Kurs ab. Während der Woche wird das Mittagessen von der DLR-Cafeteria bereitgestellt. Am Ende des Kurses erhalten die Teilnehmer ihre Zertifikate für die Kursteilnahme.

Das Kursmaterial wird in Form eines Buches [2] zur Verfügung gestellt (vgl. Kapitel 3.6). Außerdem erhalten die Teilnehmer die Präsentationsfolien auf einem USB-Speicherstick.

2.2 Unterricht durch Experten, nicht durch Lehrer

Einer der Hauptziehungspunkte des Kurses ist, dass alle Inhalte von Experten vermittelt werden, die normalerweise an ihrem Projekt arbeiten. Dies führt zu einer weniger akademischen Herangehensweise und möglicherweise zu einer weniger pädagogischen Präsentation. Außerdem werden die Inhalte in vielen Fällen nur aus der Sicht der Dozenten präsentiert. Dies wird aber aufgewogen durch die Praxisnähe der Vortragenden.

Die Verfügbarkeit unserer Dozenten kann durch Projektbedürfnisse eingeschränkt sein. Dies ist in der Regel durch Änderungen der Tagesordnung lösbar und im Laufe der Zeit haben wir Ersatzdozenten für die wichtigsten Themen gefunden. Es gibt auch eine Handvoll Ersatzvorlesungen die wir im Austausch einschieben können.

Der Einsatz interner Experten schränkt die Anzahl der Kurse ein, die pro Jahr abgehalten werden können, und wir versuchen die Bereitschaft unserer Kollegen als Dozent zu arbeiten, nicht überzustrapazieren.

2.3 Reifung des Inhalts

In den allerersten Kursen in den 2000er Jahren war der Inhalt sehr hardwareorientiert und einsatzspezifisch. Das ist einerseits gut, da viele unserer Kunden keine Raumfahrtingenieure sind, aber andererseits nimmt es Zeit von den operativen Aspekten weg. In vielen Fällen waren die Präsentationen sehr stark auf das Projekt des Vortragenden ausgerichtet und in vielen Fällen auf den Bereich der geostationären Projekte beschränkt, die damals am GSOC vorherrschend waren. Jedes Jahr wurden die Dozenten gebeten, ihre Vorlesungen weiterzuentwickeln und zu aktualisieren. Dies hatte nur teilweise Erfolg, da Projektarbeit und fliegende Missionen natürlich immer Vorrang haben. Dies führte im Laufe der ersten Jahre nur zu geringen Fortschritten.

Ab 2010 begannen wir, die Inhalte zu aktualisieren und weiterzuentwickeln und die Qualität der Präsentationen zu verbessern. "Train the trainers" war das Motto und wir buchten ein professionelles Präsentationstraining für die Dozenten und Organisatoren. Mit Unterstützung durch hauseigene Grafikdesign-Experten gelang es uns, die Präsentationen zu modernisieren. Weg von Textfolien und Detailgrafiken zu guten Vortragshilfen, die nicht von der Vortragenden Person ablenken. Wir haben auch einige Vorlesungen gestrichen, die zwar ein weiteres Satellitensubsystem vorstellten, aber im Betriebsstil mehr oder weniger redundant sind. Dadurch wurde Platz für neue Vorlesungen geschaffen.

Ab dieser Zeit erhielten wir sehr gute Unterstützung von Kollegen aus kooperierenden Kontrollzentren (ESOC und CNES) bei speziellen Themen wie dem interplanetaren Missionsbetrieb oder ATV Betrieb. Auf diese Weise kann nun ein viel breiteres Spektrum an Fachwissen präsentiert werden (vgl. 2.5).

In einem nächsten Schritt haben wir das Präsentationsmaterial in Buchkapitel umgewandelt (vgl. 3.6). Die jüngste Änderung war die Einrichtung eines eigenen Teams zur Unterstützung der Weiterentwicklung des Kurses. Dabei begannen wir, die Dozenten bei der Überarbeitung ihrer Referate im Hinblick auf Übersichtlichkeit und Struktur zu begleiten und aktiv zu unterstützen. Es wurden klare Lernziele für den Unterricht festgelegt und der Inhalt auf Vollständigkeit geprüft. Außerdem beschlossen wir, mehr praktische Übungen in das Kursprogramm aufzunehmen. Aus den Rückmeldungen der Teilnehmer konnten wir ersehen, dass die Übungen am meisten geschätzt werden. So haben wir eine vierstündige Simulation, ein Sprachprotokoll und eine Übung zur Erstellung von Flugprozeduren eingeführt.

Durch diese ständigen Aktualisierungen und Erweiterungen blieb der Kurs im Laufe der Zeit attraktiv. Der Inhalt und die Tagesordnung haben sich im Laufe der Jahre geändert, aber das ursprüngliche Konzept ist immer noch sichtbar und bleibt gültig.

2.4 Die Rolle der Übungen

Die Ausbildung bietet fünf praktische Übungen aus verschiedenen Bereichen.

Nach einer Einführung setzen die Teilnehmer die in den Vorlesungen gelernte Theorie in die Praxis um, indem sie Aufgaben an den Konsolen des Kontrollraums lösen und Missionssoftware verwenden. Sie arbeiten in Gruppen oder selbstständig. So kann ein sehr tiefer Wissenstransfer gewährleistet werden, zumal der Spaßfaktor bei den Übungen sehr hoch ist. Die praktischen Übungen lockern den Frontalunterricht während der langen Tage auf und halten die Aufmerksamkeit hoch. Die Dauer beträgt meist 90 Minuten.

Übung 1: Erstellung von Flugprozeduren

Während der Missionsvorbereitung müssen die Subsystem-Ingenieure die Flight Operation Procedures (FOPs) schreiben. Die FOP-Übung gibt daher einen praktischen Einblick in die Erstellung von FOPs.

Die Teilnehmer arbeiten mit dem vom GSOC entwickelten und verwendeten Tool zur Bearbeitung von Prozeduren (vgl. Abbildung 2).

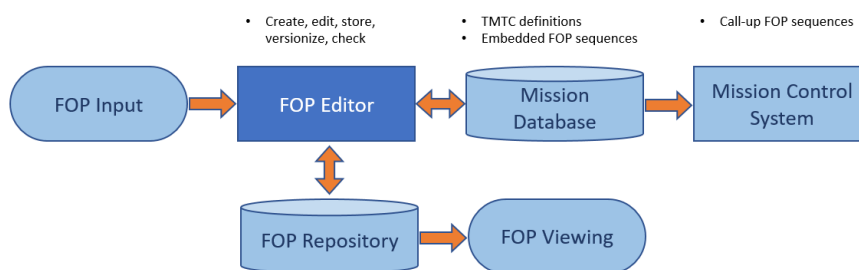


Abbildung 2: The Flight Operations Procedure (FOP) Environment

In der Übung lernen sie, Schrittfolgen zu erstellen, die Ausführungsanweisungen, Referenzen auf Telemetrieparameter, deren erwartete Werte oder Telekommandos enthalten. Die Teilnehmer üben auch, wann eine Prozedur aufgeteilt werden sollte, um sie einfacher und schneller zu bearbeiten, und dass es ggf. wichtig sein kann, eine zusätzliche Sequenz für externe Eingaben zu schreiben, um Vermischungen zu vermeiden und eine Flexibilität zu gewährleisten, während die ursprüngliche Prozedur geradlinig und übersichtlich bleibt.

Die Trainees lernen auch, zusammenhängende Aktivitäten in einen Schritt zusammenzufassen, gegebenenfalls mit Unterschriften, und konditionale Blöcke oder Schleifen mit Vorsicht zu verwenden (wie z.B. if, repeat, for, precondition, etc.), um eine Verminderung der Lesbarkeit und damit eine Verlangsamung der Abläufe zu vermeiden. Sie lernen auch, wann sie FOP-Kommentare für zusätzliche Informationen die für die FOP-Ausführung relevant sind, einfügen sollten. Ein weiterer Punkt sind begleitende Arbeiten wie das Erstellen einer FOP-Liste, das Erstellen von Überarbeitungsnotizen sowie die Qualitätssicherung kennen.

Der Schwerpunkt der Übung liegt darin zu verdeutlichen, dass beim Schreiben eines FOPs stets auf maximale Klarheit geachtet werden soll, indem man eine geradlinige Schrittstruktur einhält, kurze und prägnante Kommentare einfügt und doppelte Verneinungen vermeidet. Es sollten nach Möglichkeit pro Ereignisfolge eine FOP entwickelt werden, um doppelte oder vergebliche Aktivitäten in nachfolgenden FOPs zu vermeiden, und sich an einheitliche Normen für das gesamte Betriebsteam halten, wie z. B. den Leitfaden zur FOP-Erstellung.

Nach einer Einführung in die Nutzung des Prozeduren-Editors, erhält jeder Trainee die Aufgabe nach bestimmten Vorgaben selbst eine Prozedur zu schreiben.

Eine mögliche Aufgabe ist die Entwicklung einer nominalen FOP für die manuelle Ausführung im LEOP eines geostationären Satelliten, der zum ersten Mal in der Mission in den sogenannten normal mode (NM) gebracht werden soll. Zu den wichtigsten Aktivitäten, die im Vorfeld als Teil der Ereignisfolge (SOE) nach dem ersten Kontakt nach dem Start geplant sind, gehören Venting and Bedrücken der Tanks, der Übergang in den Sun-acquisition mode, die teilweise Entfaltung der Solarpaneele. Darüber hinaus werden die AOCS-Einheiten (Attitude and Orbit Control System), die für das Erreichen des ersten NM erforderlich sind (d. h. Star Tracker und Reaktionsräder), bereits eingeschaltet, überprüft und ordnungsgemäß konfiguriert worden sein (dasselbe gilt für die korrekte Telemetrikonfiguration gemäß dem Telemetriebandbreitenplan).

Die Aufgaben der FOP-Übung bestehen darin, das Raumfahrzeug für NM zu konfigurieren und umzuschalten. Die Anfangs- und Endkonfiguration sind vordefiniert, das Manual Attitude Profile ist mit einem Sonnenausrichtungsprofil hochgeladen, der Satellit ist 3-Achsen stabilisiert.

Zunächst müssen die Auszubildenden die erforderlichen Informationen aus verschiedenen Quellen und Inputs aus einem Leitfaden, Betriebsverfahren und zusätzlichen Informationen zusammenstellen. Jeder Auszubildende wird gebeten, vorauszudenken, eine grobe Struktur zu erstellen, alle Aktivitäten in eine Reihenfolge zu bringen und sie in Schritten zu organisieren.

Übung 2: Sprachkommunikationstraining

Die VoCS-Übung führt die Teilnehmer in das Sprachkommunikationsprotokoll und in die Nutzung des Voice Communications Systems ein. Die Übung wird im Hauptkontrollraum des GSOC durchgeführt.

In der Einführung wird die Notwendigkeit der Nutzung eines Sprechprotokolls und dessen Grundlagen erläutert. Jedem Teilnehmer wird ein individuelles Rufzeichen zugewiesen, das er verwenden muss.

Der Schwerpunkt der Übung und damit der Hauptteil der VoCS-Übung ist das Sprachkommunikationsprotokoll, wie es im Raumfahrtbetrieb des GSOC und in den meisten Kontrollzentren der Welt verwendet wird. Hier werden die wichtigsten Phrasen vorgestellt und

Beispiele gegeben, wie diese im Betrieb richtig verwendet werden, um Missverständnisse zu vermeiden.

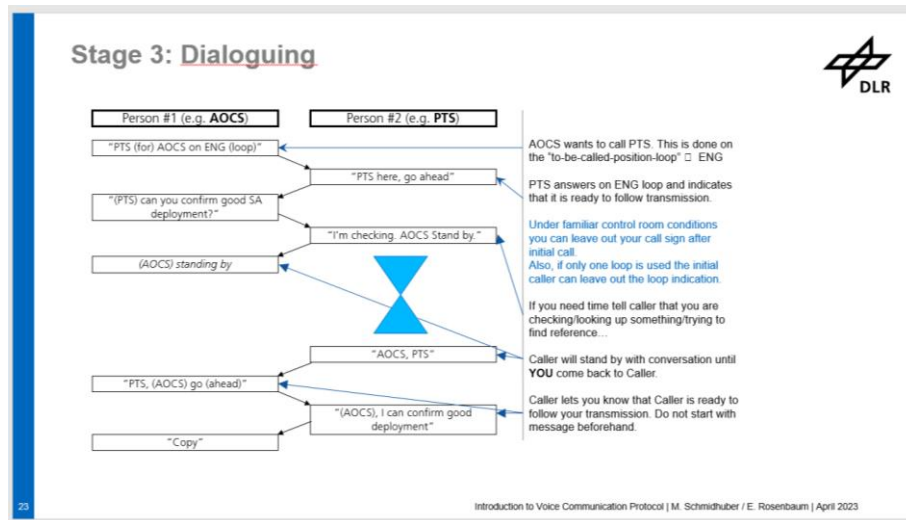


Abbildung 3: Beispielfolie zur Erläuterung des typischen Dialogablaufs

Die Teilnehmer üben typische Dialogsituationen mit dem VoCS-System. In diesem Teil unterbricht der Ausbilder die Übung nur, um entweder zur nächsten Übung zu führen oder um die Auszubildenden zu korrigieren. Die Auszubildenden lernen, wie sie die Dialoge abkürzen und sich an das Protokoll halten können, um Fehler zu vermeiden oder in kritischen Situationen Chaos oder Panik zu verhindern.

Übung 3: Flugdynamik

Die Übung zur Flugdynamik (FD) befasst sich mit zwei Aufgaben, einer Orbitbestimmung für eine LEO-Mission und einem Einparkmanöver für eine geostationäre Mission.

In der ersten Aufgabe, der Orbitbestimmung für eine niedrige Erdumlaufbahn (LEO), wird den Teilnehmern ein Szenario vorgegeben in dem das Raumfahrzeug in eine polare LEO-Umlaufbahn mit einer bestimmten Inklination startet. Die Teilnehmer müssen dann mit den bereitgestellten Messdaten die Orbitbestimmung unter Verwendung des vom GSOC entwickelten Softwaretools durchführen.

In der zweiten Aufgabe, soll ein Einparkmanöver für eine geostationäre Mission (siehe Abbildung 4) berechnen. Nach der letzten Zündung des Haupttriebwerks befindet sich der Satellit in einen Orbit (DO) nahe der geostationären Höhe und driftet planmäßig nach Osten (Driftorbit). Basierend auf der berechneten Driftrate müssen die Teilnehmer in dieser Aufgabe zwei Manöver planen, um:

1. die aktuelle Driftrate zu ändern, damit der Satellit zügig in die Zielkontrollbox (vordefinierte Länge) gelangt und dabei gleichzeitig dazwischenliegende fremde Satellitenkontrollboxen zu vermeiden,
2. die Drift in der erreichten Zielbox zu stoppen.

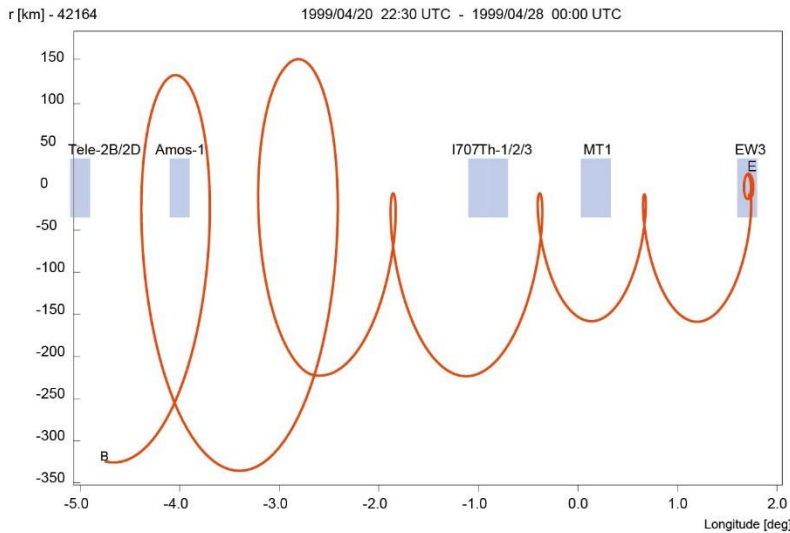


Abbildung 4: Einparkmanöver im geostationären Orbit für Satellit EW3

Übung 4: Missionsplanung

Im ersten Teil der Missionsplanungsübung müssen die Teilnehmer als Betreiber eines geostationären Datenrelais-Satelliten agieren. Diese fiktive Mission kann verschiedene Arten von Diensten, wie z.B. Fernsehen oder wissenschaftliche Aufgaben, unterstützen, aber nur einen zur gleichen Zeit, mit unterschiedlicher Dauer, Nachfrage nach Ressourcen, Preisen und Prioritäten.

Die Aufgabe der Teilnehmer besteht darin, die Missionsauslastung zu optimieren und zu maximieren, indem sie zehn verschiedene Aktivitäten innerhalb eines vorgegebenen Zeitfensters mit Hilfe eines generischen Planungstools arrangieren und durchführen.

Die Übung ist ähnlich wie ein Spiel aufgebaut. Die Gruppen der Auszubildenden können Punkte erzielen und gegeneinander antreten. Sie müssen die verfügbaren Ressourcen und Prioritäten berücksichtigen und versuchen, den größten Gewinn zu erzielen. Das Ziel ist es, den Spielern die Denkweise eines Planers zu vermitteln. Das Tool unterstützt sie bei dieser Aufgabe, übernimmt aber nicht die Planung.

In der verbleibenden Zeit der Übung werden den Spielern dann typische Planungsszenarien vorgeführt. Durch ihre eigene, frische Erfahrung können sie diese Beispiele dann sehr gut nachvollziehen.

Übung 5: LEOP-Simulation

Die intensivste Übungseinheit, die auch den abschließenden Höhepunkt der Kurswoche darstellt, ist die Simulation der Start- und frühen Orbitphase (LEOP). Der Simulationsablauf und die auszuführenden Prozeduren gehören zur LEOP eines Kommunikationssatelliten in einer Transferbahn zu seiner geostationären Position. Die Simulation dauert etwa vier Stunden und wird im Hauptkontrollraum des GSOC durchgeführt.

Wir verwenden eine Schulungsumgebung mit Trainingskonten, nutzen aber die realen Kontrollsysteme, Hilfsmittel und Flugprozeduren. Ein Satellitensimulator liefert den Datenstrom und ermöglicht eine realistische Befehlsinteraktion. Die Schulungsteilnehmer sprechen über das Voice-

Communications-System und sind mit persönlichen Zugangsdaten in alle Systemkomponenten eingeloggt.

Die Teilnehmer lernen die Zusammenhänge innerhalb des Flugbetriebs-Teams kennen, während sie die Flugbetriebsverfahren in Echtzeit ausführen. Sie lernen den Arbeitsrhythmus der Flugüberwachung kennen und spüren die einzigartige Spannung der Arbeit in einem streng kontrollierten Team.

Während der Simulation werden den Teilnehmern bestimmte Rollen zugewiesen. Sie werden in Zweiergruppen an einer Position eingeteilt, um sich gegenseitig zu unterstützen, da die Lernkurve sehr steil sein kann. Die Positionszuweisungen werden während des Planspiels rotiert. So erhält jeder Schüler die Möglichkeit, in verschiedenen Rollen zu agieren. Die Rolle des Flugleiters ist sehr anspruchsvoll, da er das Team durch die Flugbetriebsverfahren führt, das Tempo vorgibt und alle anderen Positionen einbeziehen muss, indem er Informationen anfordert oder von ihnen ein "Go-Ahead" erhält.

Diese Position weist auch den Command Operator an, vorbereitete Telekommandos zu senden oder das Missionskontrollsystem neu zu konfigurieren. Da diese Aufgaben für die Teilnehmer neu sind, werden in den Flugverfahren und von den GSOC-Mitarbeitern zahlreiche Erklärungen gegeben, die die Positionen im Hintergrund auffordern und unterstützen. Parallel dazu müssen die Auszubildenden wie im realen Betrieb Anomalieberichte und Empfehlungen verfassen sowie ihre operativen Aktivitäten kontinuierlich im OPSLOG protokollieren. Alle Operationen laufen in Echtzeit ab. Meilensteine müssen innerhalb einer vorgegebenen Zeit erreicht werden. Auch die Fähigkeiten der Flugingenieure wie vorausschauendes Denken, rechtzeitiges Reagieren und proaktives Handeln werden trainiert. Eine kleine Anzahl von unerwarteten Situationen ist in das Setup integriert.

Wir haben die Aktivitäten in der gleichen Reihenfolge wie in der Realität vorbereitet, beginnend mit der Erstakquisition und fortfahrend mit dem Health-check des Raumfahrzeugs, der Aktivierung des Antriebssystems, dem ersten Sonnenausrichtungsmodus und der Entfaltung des Solararrays. Wir begrenzen die Simulation auf vier Stunden und brechen beim dann erreichten Stand ab um die Heimreise der Teilnehmer nicht zu gefährden.

2.5 Externe Beiträge

Das GSOC ist an vielen, aber nicht an allen Arten von Weltraummissionen beteiligt. Um ein komplettes Kursprogramm anbieten zu können, haben wir unsere engen Beziehungen zu anderen Raumfahrtzentren in Europa genutzt. Seit vielen Jahren werden daher Vorträge vom ESOC, vom CNES und von einem ehemaligen DLR-Kollegen eingeladen. So sind die Vorträge über Interplanetare Missionen, Cubesat Operations und Repeater Payload Operations Highlights, die von externen Kollegen beigesteuert werden.

2.6 Die Folien vs. das Buch

In der Anfangszeit wurden den Teilnehmern alle Schulungsunterlagen in Form von Ausdrucken der in den Vorlesungen verwendeten Folien ausgehändigt. Der Aufwand für das Back-Office war enorm. Alle Aktualisierungen und Änderungen mussten einige Wochen vorher bei den Dozenten angefordert werden, um mit dem Fotokopieren beginnen zu können. Auch damals war schon bekannt, dass gute Präsentationen nur wenig Text enthalten sollten. Damit beim späteren Studium noch der komplette Vorlesungsinhalt erschließbar ist, wurde erklärender Text in die Sprecherkommentare gesetzt und diese mit ausgedruckt. Das so entstandene Folienkompendium wurde den Teilnehmern dann in zwei

großen Büroordnern ausgehändigt. In späteren Jahren stellten wir leimgebundene einfache Bücher her, die schlanker und leichter zu transportieren waren. Die geringfügigen jährlichen inhaltlichen Überarbeitungen, konnten trotzdem den enormen Aufwand für die Vervielfältigung nicht rechtfertigen. Es kam die Idee auf, erneut dem Beispiel des Southampton-Kurses [3] zu folgen und ein Buch als Kursdokumentation zu erstellen.

Dies hat den Vorteil, dass jeder Autor seine Folien durchgehen und in eine übersichtliche Fließtextform bringen musste. In diesem Schritt wurde der Inhalt deutlich aktueller. Es ist für die Leser auch klar, dass der Inhalt eines Buches nicht jeder neuen Entwicklung folgen kann, aber es bietet eine solide und fundierte Wissensbasis. Die Vortragsfolien können jederzeit überarbeitet werden und aktuelle Entwicklungen enthalten. Es genügt, wenn der Vortragende sie zum Zeitpunkt des Vortrags mitbringt. Damit wurde der Druck aus der Dokumentationserstellung genommen.

Der Nachteil bei der Erstellung des Buches war, dass es sehr schwierig war, die Experten zum Schreiben des Buches zu bringen, da die tägliche Projektarbeit weiterhin Vorrang hat und man ein wenig Ruhe benötigt um Buchkapitel zu schreiben deren Inhalt Bestand hat. Es bedurfte intensiver Unterstützung durch die Redakteure, um die Kapitel zu gestalten und zu füllen. Ein positiver Nebenaspekt ist, dass das Buch noch umfassender sein kann als die Vorlesung, da mehr Einsatzgebiete einbezogen werden können, als in einer Vorlesung behandelt werden können. Zum Beispiel sind hier weiterhin alle Satellitensubsysteme enthalten, die im Kursplan nichtmehr enthalten sind.

Das Buch [2] war ein sofortiger Erfolg und fand auch über den Kurs hinaus eine große internationale Leserschaft. Im Jahr 2022 wurde eine zweite Auflage veröffentlicht.

3 Ableitung von Formaten, Methoden und Inhalten

3.1 Interne Schulung

Sehr früh wurde erkannt, dass die Kursinhalte auch für die Einarbeitung neuer Mitarbeiter im eigenen Kontrollzentrum oder für Kollegen aus anderen DLR-Instituten äußerst hilfreich sind. Selbst mehrere Jahre nach ihrem Arbeitsbeginn am GSOC haben viele Kollegen noch nicht den vollen Überblick über alle Aspekte der Arbeit in einem Raumfahrtkontrollzentrum. Deshalb laden wir sie ein, die Vorlesungen zu verfolgen. Wir wahren dabei einen gewissen Abstand zu den offiziellen Teilnehmern, weil wir deutlich machen wollen, dass diese unsere Hauptaufmerksamkeit erhalten. Die internen Mitarbeiter nehmen auch nicht an den Übungen, Ausflügen und dem Mittagessen teil.

Die Übungen sind aber tatsächlich von großer Bedeutung für unsere neuen DLR-Kollegen. Deshalb führen wir die Übungen zeitversetzt zusätzlich für sie durch. Inzwischen ist die Teilnahme am Kurs Teil des GSOC on-boardings.

Auf diese Weise bauen wir unser Know-how im Haus auf, harmonisieren und stabilisieren es und streben eine gemeinsame Sicht auf unsere Arbeit über alle Abteilungen und Gruppen hinweg an.

3.2 Kontaktaufnahme mit der akademischen Welt

Um das Jahr 2010 herum erhielten wir eine Anfrage von der Technischen Universität München, ob es möglich sei, dass ein Studentenkurs das Zentrum besucht und einige Simulationen und Übungen durchführt. Dies wurde als Chance erkannt, die Wahrnehmung des Raumflugbetriebs grundlegend zu verbessern. Wenn die Studenten frühzeitig mit der Realität des Weltraumbetriebs in Berührung

kommen, werden ihnen die Herausforderungen des Missionsbetriebs auch in anderen Arbeitsbereichen stärker bewusst bleiben.

Wir haben eine Reihe von Vorlesungen und Übungen für die Studenten zusammengestellt. Die Einheiten wurden aus dem kommerziellen Kurs übernommen und konnten so wiederverwendet werden. Die Studenten kommen im Rahmen ihres Lehrplans an sechs bis sieben Tagen einen halben Tag in das Kontrollzentrum. Dieser Studentenkurs ist in eine reguläre offizielle Universitätsvorlesung eingebettet. Auf diese Weise entsteht kein weiterer organisatorischer Aufwand für das Kontrollzentrum.

Im Laufe der Jahre haben wir weitere Programme dieser Art mit mehreren Universitäten im süddeutschen Raum eingerichtet. Alle erhalten individuelle Arrangements von Vorlesungen und Übungen, die auf den bereits bestehenden Einheiten des regulären Spacecraft Operations Course aufbauen.



Abbildung 5: Students of the University Stuttgart during a simulation in the main control room of GSOC

3.3 Ausweitung und ihre Grenzen

Ursprünglich wurde der Kurs einmal pro Jahr, in der Regel im Oktober, angeboten. Das steigende Interesse an unserem Kurs führte zu einer wachsenden Warteliste. Diejenigen, die nicht in einem Kurs untergebracht werden konnten, mussten ein Jahr lang auf ihre Chance warten. Das war nicht sehr befriedigend, da ihr Interesse oft darauf beruht, dass sie Neulinge in der Raumfahrtbranche sind oder mit neuen Projektaufgaben zu tun haben.

Vor einigen Jahren beschlossen wir, einen zweiten Kurs pro Jahr einzuführen, um mehr Kapazität und mehr Flexibilität für die Teilnehmer zu schaffen. Dieser wird in der Regel im Frühjahr abgehalten. Wir werden das anhaltende Interesse prüfen, denn es gibt auch eine vernünftige Untergrenze bei der Teilnehmerzahl, bei der der Aufwand den Ertrag übersteigen würde. Das wurde bisher nicht gemacht, aber wenn eine bestimmte Teilnehmerzahl nicht erreicht würde, könnte ein Kurs abgesagt werden. Die Buchungen würden auf den nächsten Kurstermin übernommen, sofern dies möglich und von den Kunden gewünscht ist.

Der Nachteil der Durchführung der Kurse mit unseren Experten als Dozenten ist, dass wir die Termine für die Kurse bereits mehrere Monate im Voraus festlegen müssen. Die Projektarbeit schränkt die verfügbare Zeit der Experten manchmal ein. Einige unserer Experten genießen die Möglichkeit zu unterrichten, für andere ist es nicht ihre erste Priorität. Und solange es keine ganzjährige Kursaktivität gibt, ist der Einsatz professioneller Dozenten keine Option.

3.4 COVID und Fernunterricht

Das GSOC wurde wie jedes andere Kontrollzentrum von COVID getroffen. Wir minimierten persönliche Kontakte auf das Minimum, indem wir den Betrieb vor Ort auf verschiedene Räume verteilten und ansonsten vom Heimbüro aus arbeiteten. Auch das Flugteam konnte von zu Hause aus einen großen Teil der Arbeit erledigen, aber die sichere Basis für die aktive Steuerung des Raumfahrzeugs (z. B. das Senden der Telekommandos) blieb stets im Kontrollzentrum.

Und das ist es auch, was ein Kontrollzentrum einzigartig macht, und es ist dasselbe mit unserem Trainingskurs. Nichts kann es ersetzen, vor Ort zu sein und die unmittelbare und großartige Erfahrung der Kontrollräume, Anlagen und Antennen zu machen, direkt mit den Experten zu sprechen und den Kontext der Anwendungen zu sehen. Und dann kam COVID-19.

Die erste betroffene Veranstaltung war ein Studentenkurs ab Anfang Mai 2020. Die Universität fragte nach dem Kurs an, rechnete aber mit einer Absage. Aber wir beschlossen es zu versuchen. Die Vorlesungen zu halten war einfach, denn wir nutzten einfach das von der Universität zur Verfügung gestellte Videokonferenzsystem. Zu diesem Zeitpunkt waren alle Mitarbeiter daheim so gut ausgerüstet, dass sie von zu Hause aus teilnehmen konnten. Anstelle der Besichtigungen im Kontrollzentrum und an der Bodenstation nahmen wir improvisierte Videoclips auf, um einen Rundgang zu ermöglichen. Dies kam sehr gut an und kleinere Unzulänglichkeiten wurden in Kauf genommen. Auch die Übung zum Sprechbetrieb konnte ohne Änderung über das Konferenzsystem durchgeführt werden.

Die restlichen Übungen waren schwieriger zu bewerkstelligen: für die Flugprozedurenübung musste der vortragende Kollege die Firewall seiner Heiminstallation temporär modifizieren um einen Server bereitstellen zu können. Und die Studenten mussten die Clientsoftware auf Ihren Heimrechnern installieren.

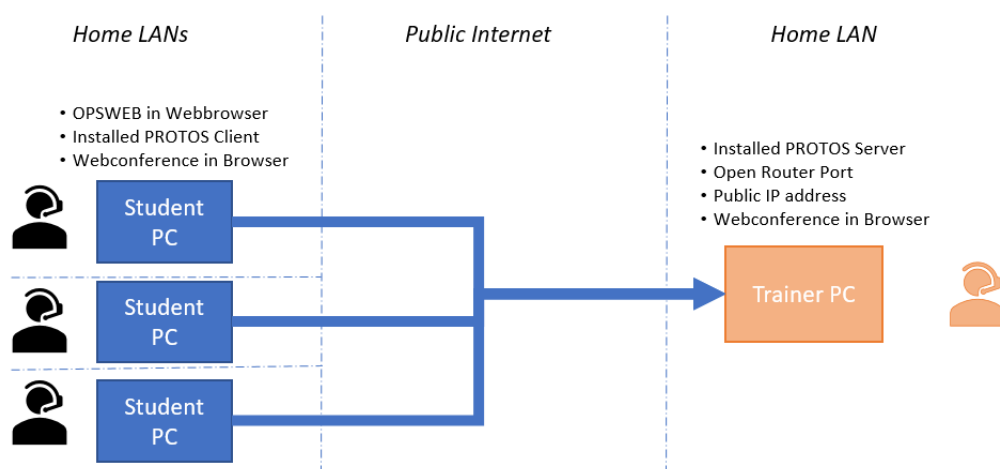


Abbildung 6: Flugprozeduren-Lektion im Home-Office

Für die Betriebssimulation nutzen wir die bereits vorhandenen Remote-funktionen des Telemetriesystems und eine vorhandene externe Website für den Zugriff auf Flugprozeduren und Anomaliereports. Diese Funktionen werden normalerweise für die Rufbereitschaft der Projekte genutzt. Der Student, der jeweils für das Kommandieren zuständig war, nutzte zusätzlich ein spezielles Online-Unterstützungssystem, das die Verwendung von Maus und Tastatur auf dem Kommandierungs-Server ermöglichte. Da hier auf eines der internen LANs des GSOC zugegriffen wird, muss diese Funktion am GSOC sein und von einer Person überwacht werden (der Simulationsleiter).

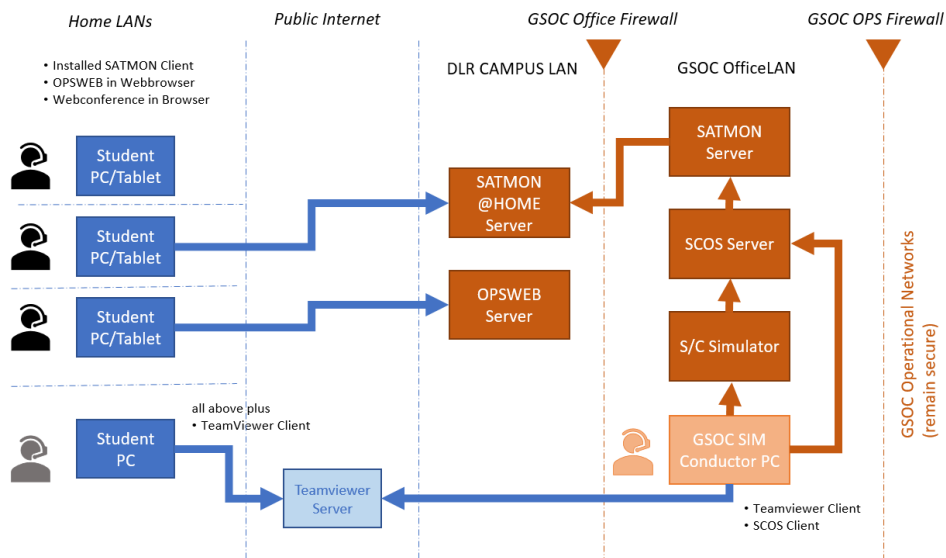


Abbildung 7: Das improvisierte LEOP-Simulations-System für Home-Office-Zugriff

Glücklicherweise befand sich das Schulungssystem bereits in einem Netzwerkbereich, der diese Art des Zugriffs ermöglichte. In Abbildung 7 sieht man die Netzwerkgrenzen. Dabei sieht man, dass die Grenze zu sensiblen Netzwerkbereichen des GSOC nicht durchbrochen wurde. Es gelang uns, die Simulation auf diese Weise durchzuführen. Allerdings war die Durchführung deutlich langsamer und fehleranfälliger. Es wurde schnell klar, dass die Schüler alleine zuhause sehr viel unsicherer waren wie sie vorgehen sollten als wenn Betreuer anwesend sind. Außerdem benutzten sie hauptsächlich Laptops mit nur einem kleinen Bildschirm, was sie dazu zwang die Fenster sehr oft zu wechseln.

Das Resümee für uns war, dass wir dies nicht mit den normalen Kursteilnehmern machen wollten, die natürlich eine einwandfreie Leistung für ihr Geld erwarten. Und der Aufwand für Remote-Vorlesungen ist nicht viel geringer als bei einer Präsentation vor Ort. Um einen schlechten Eindruck zu vermeiden, haben wir beschlossen, die Kurse für 2020 abzusagen. In der zweiten Jahreshälfte 2021 war es wieder möglich, vor Ort zu kommen, und wir haben zwei Kurse im Oktober durchgeführt. Wir bedienten dabei vorrangig die in Europa lebenden Teilnehmer, um das Risiko von Reisebeschränkungen zu minimieren. Im Jahr 2022 kehrten wir zu einer ganz normalen Durchführung zurück.

Abschließend kann man sagen, dass wir nicht planen unsere Kurse regulär als Remote-Veranstaltungen anzubieten. Dies gilt auch für Vorträge. Remote-Vorlesungen oder aufgezeichnete Vorträge können die Präsenz eines Experten nicht ersetzen.

4 Zukünftige Entwicklungen und Ausblick

Unsere zukünftigen Schritte werden darin bestehen, neue Zielgruppen anzusprechen. Viele Kunden kommen aus Europa. Aber wir wissen, dass in vielen Regionen der Welt ein neues Interesse an der Raumfahrt entsteht. Viele Menschen erkennen, dass die Raumfahrt auch für kleinere Nationen wichtig ist. Und sie erkennen auch, dass es nicht zukunftssicher ist, einfach komplette Raumfahrzeuge und Systeme von etablierten Herstellern zu kaufen, wenn sie in ihren Ländern mehr Wissen über Wissenschaft, Technologie, Ingenieurwesen und Mathematik (STEM) nachhaltig etablieren wollen.

Ein anderes Szenario ist, Fortgeschrittenenkurse anzubieten, die schon mehr in Richtung Berufstraining gehen. Die meisten Teilnehmer gaben uns ein positives Feedback und fragten nach solchen Folge- oder maßgeschneiderten Kursen. Daher untersuchen wir Möglichkeiten für weiterführende Kurse mit anderen Themen, die detailliertere Kenntnisse erfordern.

Außerdem müssen wir erkennen, dass sich die Welt der Raumfahrt verändert. Eine völlig neue Welle von Nano-Satelliten und Mikro-Trägerraketen ist im Kommen. Dies wird neue Wege für die Durchführung von Operationen eröffnen. Wenn wir weiterhin eine führende Rolle als Kompetenzzentrum für Weltraumoperationen spielen wollen, müssen wir auch neue Erfahrungen sammeln und die Ausbildung anpassen.

5 Erfolge und Lessons Learned

Unser größter Erfolg ist der gute Ruf, den wir aus der Tatsache ziehen, dass die Teilnehmer uns an ihre Kollegen weiterempfehlen und dass ihre Unternehmen kontinuierlich Plätze buchen. Wir stellen auch fest, dass die Aktualisierungsrate des von uns vermittelten Wissens sehr wertvoll ist. Das Thema Raumfahrzeugbetrieb und das Interesse an Kursen sind nach wie vor sehr gefragt. Durch die Einführung eines zweiten Kurses pro Jahr konnten wir flexibler sein und mehr Kunden ansprechen.

Von Anfang an zog der Kurs ein internationales Publikum an, das von Asien, Neuseeland, Nordamerika bis nach Arabien reichte, aber natürlich auch aus vielen europäischen Ländern.

Ein weiterer Erfolg ist das Buch zum Kurs, das ein Alleinstellungsmerkmal erlangt hat und den Arbeitsaufwand von Kurs zu Kurs reduziert hat. Wir wurden darin bestätigt, dass das Kontrollzentrum und die Bodenstation einzigartige Vorzüge sind und dass für die kommenden Jahre Kurse vor Ort der richtige Weg sind.

Danksagung

Die Autoren möchten sich bei den vielen Mitwirkenden am Spacecraft Operation Course bedanken. Die Dozenten stellen ihr Wissen bereitwillig zur Verfügung und opfern dabei meist ihre Projektzeit. Ein besonderer Dank geht an unsere externen Dozenten von ESA-ESOC, CNES und der TU München, die das Spektrum des Kurses erweitern und immer wieder zur Unterstützung unserer Kurse nach Oberpfaffenhofen reisen. Unser Dank geht auch an unser Back-Office, das uns bei der Konzeption, Vorbereitung und Organisation des Kurses unterstützt. Ohne jeden Einzelnen von Ihnen wäre der Kurs nicht möglich. Ein Gruß geht an die Universität Southampton, deren Short Course on Space System Engineering uns als Vorbild diente und unser Maßstab ist. Und nicht zuletzt an die Studenten der Universität Stuttgart, die uns freundlicherweise erlaubt haben, ihr Foto von einer der Simulationen für diesen Beitrag zu verwenden.