

Projektvorschlag SYNCART 2.0 auf dem Heinrich-Hertz-Satelliten

Impressum: AMSAT Deutschland e.V. (AMSAT-DL)
Ernst-Giller-Straße 20
D-35039 Marburg
eMail: office@amsat-dl.org
Web: <http://www.amsat-dl.org>

Vorstand: Peter Gülzow (Vorsitzender)
Hartmut Päsler (stellv. Vorsitzender)
Michael Lengrüsser (stellv. Vorsitzender)

Autoren: Peter Gülzow
Kai Siebels
Mario Lorenz



Executive Summary

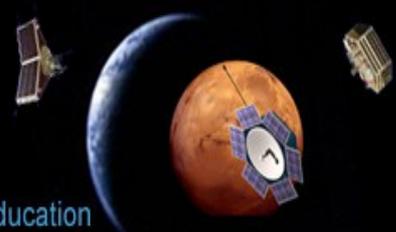
Die Heinrich-Hertz Satellitenmission (auch H2Sat) ist ein geplanter nationaler, geostationärer Kommunikations- und Forschungssatellit. Sie wird von der Raumfahrtagentur des Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Auftrag des BMWi im Rahmen der Raumfahrtstrategie der Bundesregierung geplant und dient sowohl unabhängigen Nutzlasten ("hosted payloads") als auch der In-Orbit-Verifizierung (IOV) von Technologien sowie zu Forschungszwecken.

Die AMSAT-Deutschland e.V., (AMSAT-DL) ist ein Zusammenschluss von engagierten Ingenieuren, Technikern, Wissenschaftlern, Studenten, Funkamateuren und Raumfahrtenthusiasten. Der als gemeinnützig anerkannte, eingetragene Verein besteht seit 1973 und hat den Zweck der Förderung von Wissenschaft und Forschung, insbesondere durch die Erstellung und den Betrieb von Weltraumsatellitensystemen und hochfliegenden Nachrichtensystemen zur Durchführung nachrichtentechnischer und raumfahrtwissenschaftlicher Forschung. In den vergangenen Jahrzehnten hat der Verein mehrere eigene Satelliten erfolgreich gestartet und betrieben sowie an weiteren Projekten mitgewirkt.

AMSAT-Deutschland schlägt eine Amateurfunk-Nutzlast auf dem Heinrich-Hertz-Satelliten mit dem Namen "SYNCART 2.0" vor. Es handelt sich dabei um eine Weiterentwicklung der Transponder des P3-D-Satelliten im X- bzw. K-Amateurfunk-Band sowie eine Bake im 76-GHz-Band. Dabei werden folgende Ziele verfolgt:

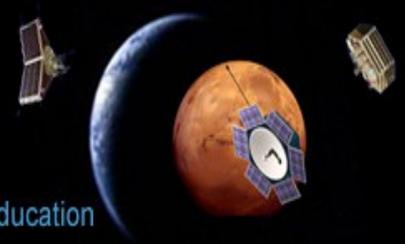
- Erschließung des geostationären Orbits für den Amateurfunkdienst
- Kommunikationsressource für Not- und Katastrophenfunk (mit stromsparender, kleiner, einfacher Technik)
- In-Orbit-Verifikation der SDX-Technologien
- Förderung der Verbreitung von Mikrowellentechnologie
- Gewinn neuer Erkenntnisse durch Studium der Ausbreitungsbedingungen im 76-GHz-Band für Satellitenanwendungen
- Bereitstellung eines Signals zur Kalibrierung von Antennen, Umsetzern und Empfängern, insbesondere für radioastronomische Anwendungen
- Anregung zum Erwerb wissenschaftlich-technischer Bildung insbesondere bei Schülern und Jugendlichen durch Bereitstellung einer ständig verfügbaren Satellitenressource, z.B. zum Einsatz im Unterricht, Forschung und Lehre
- Erwerb von konkretem Wissen und Erfahrungen mit Satellitentechnologien sowie entsprechende Forschungsmöglichkeiten, um der Raumfahrtindustrie hochqualifizierte Fachkräfte zur Verfügung zu stellen.

Das Konzept zielt dabei darauf ab, eventuell vorhandene Restkapazitäten des H2Sat effizient und effektiv zu nutzen. Mit nur geringer Unterstützung durch die DLR wäre es so möglich, wichtige Kernpunkte der Raumfahrtstrategie der Bundesregierung umzusetzen, und die Führungsrolle Deutschlands im Bereich hoch fliegender Amateurfunk-Satelliten zu sichern.



Inhaltsverzeichnis

Executive Summary.....	1
Verwendete Abkürzungen	3
Einleitung.....	4
Motivation, Anwendung und Nutzen.....	4
Notfunk (Kommunikation im Krisenfall).....	5
Ausbildung und Forschung.....	6
"People-to-People" Kommunikation.....	6
Beitrag zur Weiterentwicklung der Funk- und Nachrichtentechnik ("experimentieren").....	7
Heritage.....	8
OSCAR-1.....	8
AMSAT P3-A.....	8
AMSAT OSCAR-10 (P3-B).....	8
AMSAT OSCAR-13 (P3-C).....	9
AMSAT OSCAR-21 (RS-14).....	9
AMSAT OSCAR-40 (P3-D).....	9
SYNCART 2.0 – Technischer Vorschlag	10
Transponder.....	11
Antennen und Frequenzen, Uplink.....	12
Antennen und Frequenzen, Downlink.....	13
E-Band-Bake (76 GHz).....	15
Aufbau der Nutzlast.....	15
Accomodation/Integration	16
Projektorganisation, zeitliche Planung, Finanzierung.....	16
Zusammenfassung.....	17



Verwendete Abkürzungen

FDMA	Frequency Division Multiple Access
GEO	Geostationärer Orbit
HELAPS	High Efficient Linear Amplification by Parametric Synthesis
HEO	Highly Elliptical Orbit
IHU	Integrated Housekeeping Unit
IOV	In Orbit Verification
LEILA	Leistungslimitanzeige
LNA	Low Noise Amplifier
OSCAR	Orbital Satellite Carrying Amateur Radio
P3A,B,C,D	Phase 3A, B, C, D
SDX	Software Defined Transponder
SYNCART	Synchronous Amateur Radio Transponder
W/T	wissenschaftlich/technisch



Einleitung

Heinrich Hertz (auch H2Sat) ist ein geostationärer Forschungssatellit, der vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Auftrag des BMWi im Rahmen der Raumfahrtstrategie der Bundesregierung finanziert wird.

Neben unabhängiger Nutzlasten, sogenannten "hosted payloads" dient H2Sat der Überprüfung neuartiger Techniken der Satellitenkommunikation unter realen Einsatzbedingungen. Ziel ist dabei die Sicherstellung der nationalen Systemkompetenz bei geostationären Kommunikationssatelliten durch Kompetenzaufbau und Weiterentwicklung von Raumfahrttechnologien durch deutsche Unternehmen, Forschungsinstitutionen und Hochschulen. Ein Demonstrationsschwerpunkt sind dabei auch Ka-Band Technologien (20/26/30 GHz).

Der Start des Heinrich Hertz Satelliten auf eine geostationäre Position zwischen 10°W und 40°E ist für 2016 geplant. Die Lebensdauer des Satelliten soll 15 Jahre betragen.

Die AMSAT-Deutschland e.V., oder kurz AMSAT-DL ist ein Zusammenschluss von engagierten Ingenieuren, Technikern, Wissenschaftlern, Studenten, Funkamateuren und Raumfahrtenthusiasten.

Der als gemeinnützig eingetragene Verein besteht seit 1973 und hat den Zweck der Förderung von Wissenschaft und Forschung, insbesondere durch die Erstellung und den Betrieb von Weltraumsatellitensystemen und hochfliegenden Nachrichtensystemen zur Durchführung nachrichten- und raumfahrtwissenschaftlicher Forschung. Der Verein führt seine wissenschaftlichen Forschungen unter Mithilfe der Amateurfunkdienste und deren Vereinigungen durch, um zu einer großen Zahl von Beobachtungsergebnissen zu kommen. Die erarbeiteten wissenschaftlichen Forschungsergebnisse werden durch entsprechende Veröffentlichungen allgemein zugänglich gemacht.[1]

Die AMSAT-DL gehört damit zu den wenigen Raumfahrtorganisationen, die eigene Satellitenprojekte von der Planung über die Entwicklung und den Bau bis hin zum operativen Betrieb durchführt. So war die AMSAT-DL maßgeblich an verschiedenen "AMSAT OSCAR" Satelliten beteiligt. Dabei setzten insbesondere die 4 eigene Satelliten in einem HEO mit eigenem Antriebssystem, wissenschaftlichen Nutzlasten und Hochleistungstranspondern auf verschiedenen UKW- und Mikrowellenbändern neue Maßstäbe für Amateurfunk-Satelliten.

In nicht wenigen Fällen konnte die deutsche Industrie von den Erkenntnissen der AMSAT-Satelliten profitieren.

Motivation, Anwendung und Nutzen

Seit 1960 hat die weltweite Gemeinschaft der raumfahrtbegeisterten Funkamateure über 70 eigene nicht-kommerzielle Kleinsatelliten (genannt OSCAR) in die Erdumlaufbahn gestartet.

In den letzten Jahren ist es jedoch zunehmend schwieriger geworden, als "sekundäre" Nutzlast eine Startmöglichkeit für einen vollständigen Satelliten zu finden, die durch die Gemeinschaft der Funkamateure noch finanzierbar ist. So sucht z.B. AMSAT Deutschland



seit Jahren nach einer GTO-Startgelegenheit für den 150kg schweren P3-E Satelliten. Die Möglichkeit von Starts ist meistens nur für niedrig fliegende (LEO) Satelliten gegeben; diese sind aber zur Kommunikation über große Distanzen nur bedingt einsetzbar, auch Demonstrationen und Versuche in Schulen sind aufgrund der sehr kurzen Überflugdauer mit diesen Satelliten nur sehr bedingt möglich.

Das Konzept der sogenannten “hosted payloads” erfreut sich in letzter Zeit wachsender Beliebtheit in der Raumfahrtindustrie. Für relative geringe und im Vergleich zum Gesamtprojekt vernachlässigbare zusätzliche Kosten kann eine kleine spezialisierte Nutzlast auf einer größeren Satelliten-Plattform neben der bestehenden Nutzlast installiert werden. Die Komplexität einer eigenen separaten Satellitenmission entfällt dabei.

Mit dem Projekt “SYNCART 2.0” (Synchronous Amateur-Radio-Transponder) ist die AMSAT nun auf der Suche nach geostationären Mutter-Satelliten, um kleine, unabhängige Kommunikationsnutzlasten für Amateurfunk und Ausbildung dort mit fliegen zu lassen. SYNCART 1 war eine AMSAT-Technologiestudie für einen geostationären Satelliten aus dem Jahre 1971.[2]

Fortschritte in der Hochfrequenz-Technologie, insbesondere bei den sehr hohen Mikrowellenfrequenzen als Trägermedium sowie in der digitalen Signalverarbeitung, ermöglichen Nachrichtensysteme für analoge und digitale Kommunikation bei relativ geringen Platzbedarf.

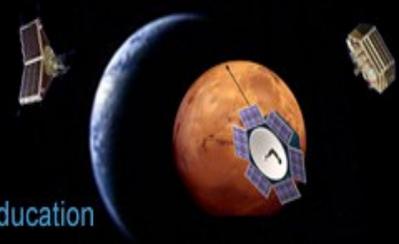
Traditionell sind Kommunikation im Krisenfall, People-to-People Kommunikation, Weiterentwicklung der Nachrichtentechnik und Ausbildung tief im Amateurfunk verwurzelte Anwendungen. Dies wird durch die große Zahl von aktiven Funkamateuren weltweit in idealerweise ergänzt, was insbesondere für die tägliche Beobachtung der Wellenausbreitung und vernetzte Datensammlung der Satellitentelemetrie ergänzt wird. Alle diese Anwendungen sind auch direkte Ziele der Raumfahrtstrategie der Bundesregierung [3].

Notfunk (Kommunikation im Krisenfall)

Eines der grundlegenden Ziele und auch eine Begründungen für den Amateurfunkdienst weltweit ist die Kommunikation in Nottfällen. Dies ist auch ein Ziel der Raumfahrtstrategie der Bundesregierung [3]. Der Amateurfunkdienst ist für diese Rolle gut geeignet, da der Einsatz portabler bzw. mobiler Geräte schon immer ein Fokus des Amateurfunks war. Funkamateure üben so den autarken, von bestehenden Kommunikations- und Energieversorgungsnetzen unabhängigen Betrieb.

Funkamateure besitzen sowohl die nötigen Geräte am Boden als auch Know-How und können im Falle von Naturkatastrophen flexibel und schnell reagieren. Viele Fälle – sowohl national als auch international - auch in jüngster Zeit belegen, dass die Kommunikationsnetze der Funkamateure schnell aufgebaut und betriebsbereit sind Meist sind die ersten Verbindungen in und aus einem Krisengebiet oftmals Amateurfunkverbindungen mit ersten wichtigen Informationen über die Art der Krise, benötigtes Gerät und Hilfsmaterial.

Die Kommunikation über SYNCART 2.0 auf H2Sat kann dabei eine wichtige Ressource für diese Anwendung werden. Die Boden-Terminals bestehen im einfachsten Fall aus



entsprechenden Umsetzern für die vorhandenen Amateurfunkgeräte und sind daher klein und leicht. Für den häufigen Anwendungsfall "Sprache" ist die Qualität auch bei kleinen Antennen noch ausreichend, insbesondere da die Signalverschlechterung bei Analogmodulation eher anmutig ist, ganz im Gegensatz zu den digitalen Betriebsarten.

Ausbildung und Forschung

Ein zweites wichtiges Ziel im Amateurfunkdienst ist die Unterstützung bei der Aus- und Weiterbildung sowie die Begeisterung der Jugendlichen für die Technik. Viele junge Menschen haben erst durch den Amateurfunk Erfahrungen in technischen Zusammenhängen erlangt, die später für ihre mögliche Berufsentscheidung, wie Ingenieur, Wissenschaftler oder Techniker, entscheidend waren oder zumindest einen positiven Einfluss hatten. Dies fängt bereits in den Schulen an, wo Unterrichtspläne geschrieben wurden um z.B. Amateurfunk-Satelliten zu Lehrzwecken in verschiedenen Ebenen zu nutzen. Dies setzt sich bis zu den Universitäten fort, an denen es oft entsprechende Amateurfunkgruppen gibt, die auch an dem Erfolg der sogenannten CubeSats beteiligt sind.

Für Anwendungen im Schulunterricht sind hochfliegende Satelliten aus praktischen Gründen eine Notwendigkeit: Der Stundenplan der Schulen ist in der Regel festgelegt und richtet sich nicht nach Überflugzeiten von Satelliten. Um einen Satelliten daher in den Schulunterricht z.B. für Versuche einzubinden, ist ein geostationärer Satellit wie H2Sat bestens geeignet.

In Zeiten des Ingenieursmangels im Bereich Hochfrequenztechnik, Nachrichtentechnik und Raumfahrt ist der Einsatz einer „hosted payload“ im Bereich des Amateurfunks eine einmalige Chance, um junge Menschen für komplexe Technik zu begeistern, über den Amateurfunk an Satellitentechnik heran zu führen, und so den dringend benötigten Nachwuchs für natur- und ingenieurwissenschaftliche Fächer im Sinne von [3] zu gewinnen.

Im Rahmen von Entwicklungshilfe wäre dies weiterhin auch ein wichtiges Thema in vielen Ländern (z.B. Afrika, naher Osten) die im Einzugsbereich von H2Sat und der SYNCART-Payload liegen könnten. Hier gäbe es sicher auch viele interessante Themen um die Zusammenarbeit auch mit deutschen Universitäten zu pflegen und zu verbessern.

"People-to-People" Kommunikation

Ein drittes Ziel im Amateurfunk ist die Förderung von internationaler Kommunikation auf Basis des "guten Willens" und nicht-kommerzieller Art. SYNCART auf H2Sat würde Kommunikationsverbindungen zwischen weit von einander entfernten Ländern ermöglichen, in denen die Beteiligten ihre Lebenserfahrungen diskutieren und vergleichen können, nicht nur technischer Natur. Dies wäre aufgrund der 24h-Verfügbarkeit auch zeitlich sehr gut planbar und z.B. auch in den Unterricht einbaubar.

Beitrag zur Weiterentwicklung der Funk- und Nachrichtentechnik ("experimentieren")

Aufgrund ihrer Ausbildung und Prüfungs vor der Bundesnetzagentur (BNetzA) sind Funkamateure berechtigt, eigene Empfänger- und Sender inklusive zugehöriger Antennen



zu entwickeln, zu bauen und auf den zugewiesene Amateurfunkfrequenzen zu betreiben. Neue Technologien lassen sich daher wesentlich schneller umsetzen und unter größerer Beteiligung bei realen Bedingungen erproben, als dies sonst üblich ist. Auch viele Universitäten besitzen eigene Klubstationen, die von Funkamateuren betreut werden und am Satellitenfunk teilnehmen.

Die Verfügbarkeit eines SYNCART 2.0 - Transponders sowie der Baken würde viel Raum für Experimente und Forschung bieten.

Experimente könnten beispielsweise in folgenden Bereichen durchgeführt werden:

- Fernerkundung und Fernbedienung, insbesondere unter Verwendung von IP-basierten Daten und Diensten.
- Das Experimentieren mit neuen Multiple Access Modulationsverfahren in einer unkontrollierten, Mehrbenutzer-Umgebung.
- Messung, Analyse und Auswertung der Ausbreitungsbedingungen im 10GHz Band (X-Band), 24 GHz (K-Band) sowie 76 GHz (E-Band), um atmosphärische Verschlechterung des Signals durch unterschiedliche Witterungseinflüsse zu untersuchen und entsprechend technisch entgegen zu wirken.
- Lageverfolgung von mobilen Endgeräten (z.B. Ballons, Bojen, Fahrzeuge) über eine Amateurfunk-Technik namens APRS (Automatic Packet Reporting System), welche die Übertragung von Positionsdaten über niedrig-ratige Links mit niedriger Sendeleistung ermöglicht.
- Intersatellitenkommunikation zwischen Amateurfunk- bzw. Forschungs-LEO-Satelliten über SYNCART 2.0 GEO als Kommunikationsrelais.
- Entwicklung und Test von neuen Empfänger- und Senderkonzepten im X, K(a) und E-Band
- Entwicklung und Test von neuen Mikrowellenkonzepten und SDR Systemen
- Entwicklung, Test und Kalibrierung von neuen Antennenkonzepten für Mikrowellenanwendungen, z.B. im Ka-Band, aber insbesondere auch für die Radioastronomie.

Die AMSAT-DL bietet zusätzlich eine Mitarbeit und Erfahrungsaustausch an den mit fliegenden wissenschaftlich/technischen Experimenten (falls gewünscht) an. Gerade bei der Nutzung der höheren Mikrowellenbänder (Ka-Band) können wir hier auf große Erfahrung zurückgreifen. Auch sind unsere leistungsstarken Antennen (z.B. 20m Antenne in Bochum) für weitergehende Experimente und Versuche verfügbar.

Daher ist Heinrich Hertz Satellit eine ideale Plattform für das SYNCART-2.0-Projekt, und SYNCART 2.0 eine nützliche Ergänzung der für H2Sat geplanten Nutzlasten und Experimente. Dies gilt besonders unter dem Aspekt der internationalen Zusammenarbeit, der Jugendarbeit, Ausbildung und Nachwuchsförderung an Hochschulen. Auch bietet SYNCART 2.0 einen eigenständigen Beitrag zur Forschung im Bereich der Radioastronomie liefern.

Heritage

OSCAR-1



Abbildung 1:
OSCAR 1

Bereits 1961, also nur 4 Jahre nach Sputnik-1, wurde mit "OSCAR-1" der erste von Funkamateuren ehrenamtlich entwickelte und gebaute Satellit gestartet. Mit 22 Tagen hatte er eine um 1 Tag längere Lebensdauer als Sputnik-1 der UDSSR. In den folgenden Jahren wurde die Amateurfunk-Satelliten ausgereifter und die Lebensdauer teilweise auf deutlich über 10 Jahre verbessert. AMSAT-DL war an verschiedenen Projekten mit eigenen Baugruppen und Nutzlasten beteiligt. Für den britischen UoSAT-1 der University of Surrey (später SSTL) entwickelte AMSAT-DL z.B. die Stromversorgung und Batterieladeregler.

AMSAT P3-A

Im Jahr 1980 sollte mit dem P3-A Projekt der erste Amateurfunk-Satellit in einen HEO gebracht werden. AMSAT-DL hatte die Projektführerschaft inne und wesentliche Teile des Satelliten selbst entwickelt und gebaut. Der Satellit verfügte über einen 50 Watt Lineartransponder für UHF-Uplink (435 MHz) und VHF-Downlink (145 MHz), den ersten freiprogrammierbaren Bordcomputer in einem Satelliten sowie ein eigenes Feststofftriebwerk für die endgültige Umlaufbahn. Leider versagte die Ariane-1 L02 Rakete beim Start.



Abbildung 2:
P3A auf Ariane-1

AMSAT OSCAR-10 (P3-B)

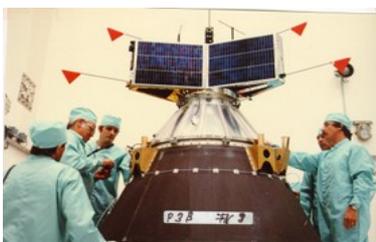


Abbildung 3: AMSAT
OSCAR-10

1983 wurde dann mit OSCAR-10 (P3-B) auf Ariane-1 L06 als sekundäre Nutzlast der Erfolg nachgeholt. Es war der zweite Satellit unter AMSAT-DL Projektleitung. Der 50 Watt Lineartransponder mit UHF-Uplink und VHF-Downlink für etwa ermöglichte 50 simultane Sprachverbindungen. Ein weiterer 50 Watt Lineartransponder arbeitete mit L-Band Uplink (1296 MHz) und UHF-Downlink. Aufgrund der hoch elliptischen Umlaufbahn mit 35450 km Apogäum waren weltweite Funkkontakte mit sehr einfachen Boden-Terminals möglich.

AMSAT OSCAR-13 (P3-C)



Abbildung 4:
AMSAT OSCAR-13

Im Jahr 1988 wurde der dritte Phase-3 Satellit der AMSAT-DL erfolgreich in einen HEO gestartet. Zusätzlich zu den bisherigen Transpondern im VHF- und UHF-Bereich, gab es auch einen L-Band Uplink und erstmals auch einen S-Band Downlink (2.4 GHz). Zudem wurde erstmals ein digitales Store&Forward Kommunikationssystem für E-Mails im AX.25 Protokoll realisiert. Nach 8 Jahren erfolgreichem Betrieb im Orbit verglühte OSCAR-13 im Jahr 1996 aufgrund bis



dahin wenig bekannter Resonanzen der Bahnmechanik mit anderen Himmelskörpern.

AMSAT OSCAR-21 (RS-14)

Eine erste eigene "hosted payload" wurde 1991 auf dem russischen INFORMATOR-1 Muttersatelliten mit russischen Partnern der AMSAT auf einer Proton-Rakete gestartet. AMSAT-DL lieferte u.a. ein digitales Kommunikationssystem, welches nicht nur für Store&Forward-Betrieb von eMails (AX.25 Mailbox) genutzt werden konnte, sondern auch zur Übertragung von Sprache, FAX und Bildern (SSTV).



Abbildung 5: AMSAT OSCAR-21 Payload

AMSAT OSCAR-40 (P3-D)

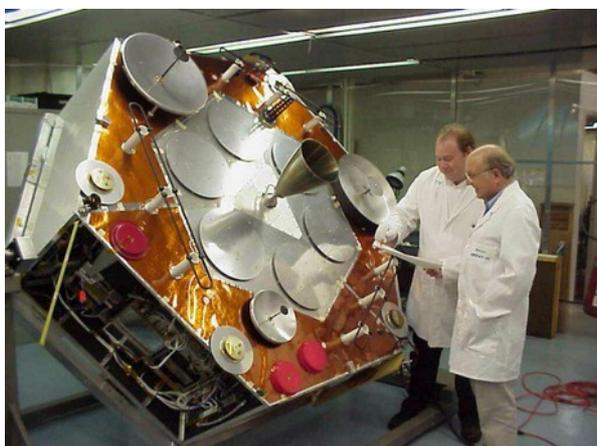


Abbildung 6: AMSAT OSCAR-40 während der Integration

Im November 2000 wurde P3-D als vierter und mit 650 kg Masse bisher schwerster und größter Satellit der AMSAT auf Ariane-507 gestartet. Es standen mehrere 200 Watt Hochleistungs-Lineartransponder auf verschiedenen Bändern zur Verfügung. Neben VHF, UHF, L- und S-Band wurden auch erstmals Amateurfunk-Transponder für das **C-, X und K-Band (5.7 GHz, 10.4 GHz, 24 GHz)** geflogen und betrieben. Ein weiterer Versuch war ein Infrarot-Laser als optischer Downlink. Weiterhin wurden ein neuer Bordcomputer sowie ein digitaler Transponder (AX.25) erprobt.

In einem GPS-Experiment wurde die Möglichkeit des Empfangs von GPS-Signalen auch in einem HEO nachgewiesen[4]. Die empfangenen Signale waren ausreichend, um einen Positions-Fix offline zu berechnen.



Abbildung 7: Erde aus $> 50000\text{km}$ Entfernung, aufgenommen von AO40

Eine japanische Kameranutzlast, SCOPE (Satellite Camera for Observing Planets and the Earth), lieferte die ersten derartigen Bilder von der Erde seit der Zeit der Apollo Mond-Missionen.

Zu den weiteren Nutzlasten gehörte auch ein Cosmic-Ray Energy Deposit Experiment (CEDEX) der University of Surrey (SSTL), welches Messungen des Partikelstroms beim Durchfliegen der Van-Allen Strahlungsgürtel ermöglichte und zur überraschenden Entdeckung eines zeitweise auftretenden weiteren Strahlungsgürtels in etwa 24.000 km Höhe führte.

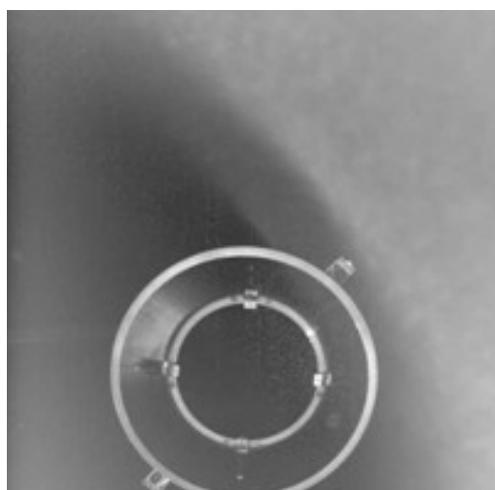


Abbildung 8: Payloadadapter nach Abtrennung, aufgenommen von AO40

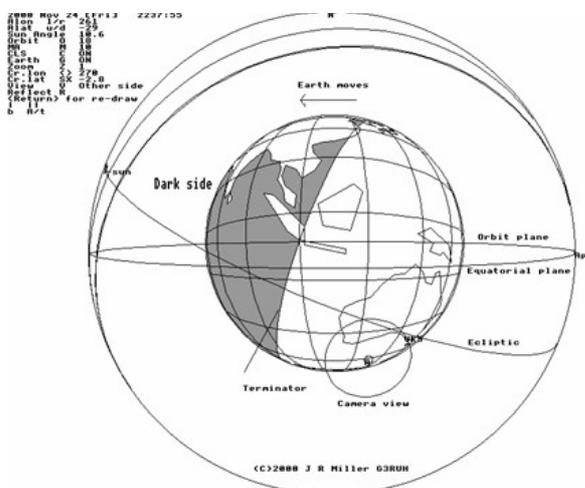


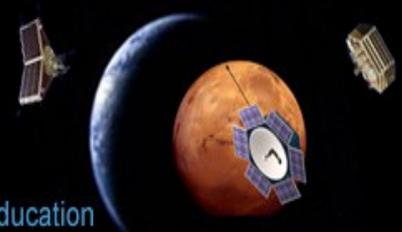
Abbildung 9: Fluglageberechnung von AO40 auf Basis von Kamera-Bildern

Eine weitere CMOS-Kamera erstmalig ein Video von der Abtrennung des Adapters der oberen Nutzlast lieferte. Später diente die gleiche Kamera zur Fluglageberechnung des Satelliten.

SYNCART 2.0 – Technischer Vorschlag

Das Ziel der AMSAT war immer, einer möglichst großen Anzahl von Benutzern eine Kommunikationsmöglichkeit über möglichst große Entfernungen zu schaffen, Wissen über Satellitenkommunikation zu vermitteln und praktische Erfahrungen im Umgang mit Satellitentranspondern zu ermöglichen. Um die Einstiegsschwelle möglichst niedrig zu halten, wurde dabei immer versucht, den Aufwand auf Seiten der Benutzer möglichst zu minimieren.

Eine Mitfluggelegenheit auf dem geostationären H2Sat würde den kommunikations- und experimentierfreudige Benutzern erstmalig die Vorteile der geostationären Umlaufbahn bieten, also 24 Stunden Verfügbarkeit und geringe bzw. keine Anforderungen an die Bodenstation hinsichtlich automatisch nachgeführter Antennensysteme.



Transponder

Technisch-/wissenschaftlich interessierte Funkamateure können und sollen dabei die ihnen bekannten und vorhandenen Geräte auch für die Satellitenkommunikation nutzen bzw. notwendige Geräte selbst bauen. Für die Verwendung in den vorgeschlagenen Mikrowellenbändern sind dabei oft nur einfache Sende- und Empfangskonverter erforderlich. Als Modulationsverfahren sind neben Morsetelegrafie insbesondere Sprachübertragung mittels Einseitenband und unterdrücktem Träger (Single-Side-Band, SSB) üblich. In den letzten Jahren kommen vermehrt auch digitale Verfahren zum Einsatz.

Bei den digitalen Verfahren (z.B. PSK31 oder WSJT [5]) ist es so möglich, mit geringstem Energieaufwand weltweit zu kommunizieren (Notfunkanwendungen). Innerhalb der 15-jährigen Betriebszeit des Heinrich Hertz Satelliten ist es geplant, weitere Wellenformen zu entwickeln, um diese dann praktisch über den SYNCART 2.0-Transponder zu erproben.

Die linearen Transponder der AMSAT-DL, die auf verschiedenen Amateurfunk-Satelliten eingesetzt wurden, nutzen spezielle Eigenschaften der SSB-Modulation vorteilhaft aus. Unter dem Begriff HELAPS (High Efficiency Linear Amplification by Parametric Synthesis) wurden eine Reihe von Technologien entwickelt [6], um eine möglichst hohe Effizienz der Transponderleistung zu erreichen. HELAPS ermöglicht eine effiziente Aufteilung der Transponderleistung auf mehrere Benutzer, wobei nur die mittlere Leistung berücksichtigt werden muss. Die benötigte Spitzenleistung ergibt sich dann aus dem "Pool" von allen Usern, so dass eine wesentlich bessere Link-Leistung erzielt werden kann, als man zunächst vermuten würde.

Insbesondere durch die hohe Effizienz sind die HELAPS-Transponder für Satellitenanwendungen sehr gut geeignet:

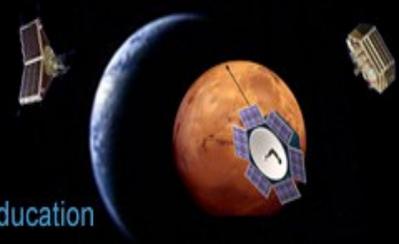
Die zur Verfügung gestellte elektrische Leistung bei einer "hosted payload" wird optimal genutzt und in Hochfrequenz, nicht in Wärme umgesetzt. Deswegen werden für den Einsatz auf H2Sat HELAPS-basierte Transponder vorgeschlagen.

Ein derartiger HELAPS-Transponder für das K-Band wurde bereits mit P3D (Siehe Kapitel Heritage) erfolgreich geflogen.

Um mehrere Nutzer auf dem Transponder zu unterstützen, sind diese für einen Vielfachzugriff im FDMA-Verfahren ausgelegt. Der Zugriff selbst erfolgt dabei autonom und unkoordiniert, d.h. es gibt keine Instanz, welche Zugriffsrechte und -prioritäten festlegt.

Die Steuerung der HELAPS-Transponder erfolgte bisher analog. In AO-40/P3D wurde dabei dem Nutzer zur Steuerung der Uplink-Leistung akustisch angezeigt, wenn der Pegel zu hoch war (Leistungslimit-Anzeige „LEILA“). Diese Aufgabe soll für H2Sat ein neu entwickelter, software-definierter Transponder (SDX) übernehmen. Mit diesem Transponderkonzept werden nicht nur traditionelle analoge Modulation optimal unterstützt; in einzelnen Teilfrequenzbereichen können auch gängige, im Amateurfunk verwendete digitale Verfahren demoduliert und vollständig regeneriert umgesetzt werden.

Der Umsetzer soll mit einem neuartigen, digitalen SDX-Konzept erfolgen, welches auf einer Hardware nicht nur einen herkömmlichen Analogtransponder realisiert, sondern auf Teilfrequenzbereichen auch digitale Amateurfunkaussendungen regenerativ umsetzen.



Antennen und Frequenzen, Uplink

Da SYNCART 2.0 eine Kommunikations-Payload ist, werden zu ihrem Betrieb Antennen benötigt. Dabei darf eine derartige kleine, sekundäre Nutzlast keine signifikanten Ansprüche in Bezug auf die Antennen stellen. Der Platz für Antennen wird daher in aller Regel begrenzt sein. Genaue Angaben liegen uns derzeit nicht vor, so dass mit groben Abschätzungen gearbeitet werden muss. In erster Annahme könnte die Akkomodation der kleinen SYNCART 2.0 – Antennen auf dem Earthdeck des Heinrich Hertz Satelliten erfolgen.

Für Amateurfunkanwendungen sollte die Satellitenantenne die gesamte vom Satelliten aus sichtbare Erdoberfläche optimal ausleuchten und damit dessen Nutzung überall dort ermöglichen, wo er oberhalb des Horizonts ist. Über die Erde hinaus sollte natürlich möglichst wenig abgestrahlt werden. Aus dem geostationären Orbit betrachtet hat die Erde einen Durchmesser von etwa 17° . Eine Antenne mit einem derartigen Öffnungswinkel hat – unabhängig von der Frequenz – einen Gewinn von etwa 20 dBi. Ein Antennengewinn dieser Größe bedeutet wiederum, dass die Antennengröße am Satelliten jeweils etwas 4 Wellenlängen im Durchmesser betragen muss.

Der Gewinn der Satellitenantenne geht daher auch nicht in die frequenzabhängige Streckendämpfung ein, diese ergibt sich lediglich durch die Antenne am Boden. Unter der Annahme einer Parabolantenne hängt ihr Gewinn vom Parameter d/λ quadratisch ab. Der Free Space Loss hängt ebenfalls quadratisch vom gleichen Parameter ab. Bei konstantem Durchmesser der Antenne wird der höhere Free Space Loss daher durch den höheren Gewinn der Erdantenne kompensiert. Unter Vernachlässigung weiterer Einflüsse wie z.B. zusätzlicher Dämpfung durch Scintillation etc. hängt das Linkbudget daher nicht von der Frequenz, sondern nur von der Möglichkeit ab, die benötigten Sendeleistungen möglichst preiswert zu erzeugen. Dies ist im Uplink auf der Erde für niedrige Frequenzen einfacher realisierbar.

Im Frequenznutzungsplan der BNetzA[7] sieht – im Einklang mit internationalen Vereinbarungen - unter anderem die in Tabelle 1 genannten Bereiche für den Amateurfunkdienst über Satelliten vor. Bei einer (optimistischen) angenommenen Beschränkung der Antennengröße am Satelliten auf einen maximalen Durchmesser von 50 cm, ließe sich somit der erforderliche Antennengewinn nur auf Frequenzen von 2400 MHz (S-Band) und höher erreichen. Kleinere Antennen sind möglich, wobei eine höhere Ausgangsleistung für Nutzer auf den niedrigeren Frequenzen (im S-Band) leichter bzw. preiswerter zu erzeugen wäre.

Es wird daher vorgeschlagen, den Uplink im S-Band auf 2.4 GHz zu realisieren.

Sollte der Platz für eine so große Antenne nicht zur Verfügung stehen, könnte der Ersatz durch mehrere kleinere, kombinierte Antennen geprüft werden. Ist auch dies nicht möglich, kann der Link entweder durch in diesem Frequenzbereich noch preiswert realisierbare höhere Uplink-Leistung realisiert werden. Falls es nötig ist, kann man mit dem Uplink auch auf andere Frequenzbereiche (z.B. das 5.7 GHz C-Band) ausweichen. Dies würde jedoch den Aufwand für die Nutzer beträchtlich erhöhen.

Ein möglicher Risikofaktor ist die Belegung des als Uplink vorgesehenen 2.4 GHz-Bandes durch WLAN und andere ISM-Anwendungen. Erste Untersuchungen gehen davon aus,

dass aufgrund der großen Entfernung zum geostationären Orbit und der sehr geringen und nicht gerichteten Abstrahlung dieser Anwender die zu erwartende Störung minimal ist. Dies ist jedoch noch nicht abschließend untersucht.

Band	Frequenzbereich	Antennendurchmesser (~20 dBi)	Bemerkung
S-Band	2400-2450 MHz	50 cm	
C-Band	5650-5725 MHz 5830-5850 MHz	24 cm	Erde-Weltraum Weltraum-Erde
X-Band	10.45-10.50 GHz	12 cm	
K-Band	24.00-24.05 GHz	5 cm	
U-Band	47.0-47.2 GHz	2.5 cm	
E-Band	76.0-78 GHz	1.5 cm	Bake; ggf. stärker bündeln

Tabelle 1: Frequenzbänder für den Amateurfunk über Satelliten

Antennen und Frequenzen, Downlink

Unter den gleichen Annahmen schließen wir ferner daraus, dass die Verwendung von 10,5 GHz (X-Band) für die Satelliten-Downlink eine mögliche Wahl ist und eine Umsetzung mit Antennen von angemessener Größe machbar ist. Dies gilt natürlich umso mehr für noch höhere Frequenzen, wie z.B. dem 24 GHz (K-Band).

Da Ka-Band Technologien (20/26/30 GHz) bei H2Sat ein Demonstrationsschwerpunkt sind, ist ein K-Band-Downlink angemessen und sinnvoll. Daraus würden sich auch interessante zusätzliche Erkenntnisse der Wellenausbreitungen ableiten lassen, insbesondere im direkten Vergleich mit der X-Band Downlink.

Es werden zwei Downlinks vorgeschlagen, in den Amateurfunk-Frequenzbereichen von 10.5 GHz (X-Band) sowie 24 GHz (Ka-Band).

Dafür wäre am Satelliten eine Antenne von 13 cm Durchmesser nötig, welche sich relativ leicht unterbringen lassen sollte. Eine Kombiantenne für X- und K-Band wäre dabei realisierbar, sofern dies aus Platzgründen nötig ist. AMSAT-DL hat Erfahrungen mit Transpondern in diesem Frequenzbereich; sie wurden bereits auf P3-D (AO40) geflogen.

Obwohl für die "typischen" Bodenstationen eine Empfangsantenne von 1m Durchmesser vorgeschlagen wird, könnte die Größe für Notfall- und portable Endgeräte noch einmal reduziert werden. Eine Antenne mit 50cm Durchmesser am Boden würde dabei immer noch akzeptable Werte für das empfangene Signal-Rausch-Verhältnis liefern und kann zur



Abbildung 10: P3D K-Band PA + Horn

weiteren Verbreitung von mobilen Endgeräten führen.

Mangels Wissen über weitere für H2Sat geplante Nutzlasten und deren Frequenzen konnte bisher noch nicht untersucht werden, ob sich potenziell störende Beeinflussungen zu anderen H2Sat-Nutzlasten ergeben könnten. Diese sind selbstverständlich durch entsprechende technische und planerische Maßnahmen auszuschließen. Andererseits wäre zu prüfen, ob ggf. die Möglichkeit der Mitnutzung bereits für W/T-Nutzlasten geplanter Antennen besteht. Ein erstes, überschlägiges Linkbudget ist in Tabelle 2 dargestellt und geht von einer Transponderbandbreite von etwa 250 kHz, und einer Satellitenausgangsleistung von ca. 25 W aus. Bei ca. 50 gleichzeitigen Verbindungen Je nach Wetterlage und zu berücksichtigender atmosphärischer sowie sonstiger Dämpfung ergibt sich so ein SNR (PEP) im Bereich von 20...25 dB, was für SSB-Sprachkommunikation unter Amateurfunk-Bedingungen ausreicht. Im K-Band ist aufgrund der höheren Dämpfung durch atmosphärische Effekte sowie die schlechteren LNAs zur Aufrechterhaltung des gleichen SNR's eine höhere Leistung am Satelliten erforderlich. Ob dies tatsächlich realisierbar ist, hängt insbesondere von der ggf. verfügbaren elektrischen Leistung bei H2Sat ab.

Bodenstation				
Ausgangsleistung PEP [W]			50,0	15,0
Ausgangsleistung [dBW]			17,0	11,8
Antennengewinn [dBi]			25,1	37,9
EIRP [dBW]			42,1	49,6
Free Space Loss [dB] Dist: [km]	41000		-192,3	-205,1
Misc. Losses [dB]			-2,0	-4,0
Spacecraft:				
UL Antenna Gain [dBi]			20,0	21,0
Pn (Tn=400k, B=2.5kHz) [dbW]			-168,0	-168,0
UL SNR(PEP) /User [dB]			35,7	29,5
Downlink				
		X-Band	K-Band	E-Band (Bake)
Frequenz [Hz]		1,05E+10	2,40E+10	7,60E+010
Spacecraft:				
Ausgangsleistung PEP [W]		25	25	0,2
Ausgangsleistung PEP [dBW]		14,0	14,0	-7,0
Transponder PEP margin		-6,0	-6,0	
Leistungsaufteilung [dB] Anzahl Nutzer:	50	-17,0	-17,0	0
Antenna Gain [dBi]		20	20	22
Free Space Loss [dB]		-205,1	-212,3	-222,3
Misc. Losses [dB]		-4,0	-7,0	-10
Bodenstation				
RX Antenna Gain (same dish)		38	45	55
Pn (Tn=150K/250K/450K, B=2.5kHz/1kHz)		-172,3	-170,0	-171,5
DL SNR/User (avg) [dB]		12	7	9
DL SNR/User (PEP) [dB]		25	20	

Tabelle 2: Linkbudget K,X,E-Band

Es ist dabei damit zu rechnen, dass sich das Uplink-Budget mit der Verfügbarkeit preiswerter Sendeendstufen sowie besserer LNA's (mit optimierter Rauschzahl) für den Amateurfunkmarkt weiter verbessert.

E-Band-Bake (76 GHz)

Transponder im X bzw. K-Band wurden bereits auf P3D erfolgreich betrieben. Auf dem Weg zu immer höheren Frequenzen im Amateurfunk aber auch im Satellitenfunk allgemein planen wir eine experimentelle Bake im E-Band (76 GHz). Diese Bake soll Studien der atmosphärischen Ausbreitungseigenschaften in diesem Frequenzbereich ermöglichen. Weiterhin stellt sie ein für interessierte Nutzer ein lohnendes Ziel für die Beschäftigung mit Empfangstechnik in diesem auch für Amateurverhältnisse extrem hohen Frequenzbereich dar. Ein weiterer Grund für diesen Vorschlag sind Wünsche aus der Radioastronomie-Community. Eine starke Strahlungsquelle möglichst hoher Frequenz kann z.B. zur Kalibrierung und Messung der Oberflächengenauigkeit großer Radioastronomie-Antennen verwendet werden.

Die vorgeschlagene 76 GHz - Bake verfügt über eine Ausgangsleistung von 0.2 Watt, was für einen Sinus-Träger oder eine niedrigbitratige, kanalcodierte Telemetrieaussendung ausreichend ist.

Aufbau der Nutzlast

Eine Skizze der vorgeschlagenen Nutzlast ist in Abbildung 11 dargestellt.

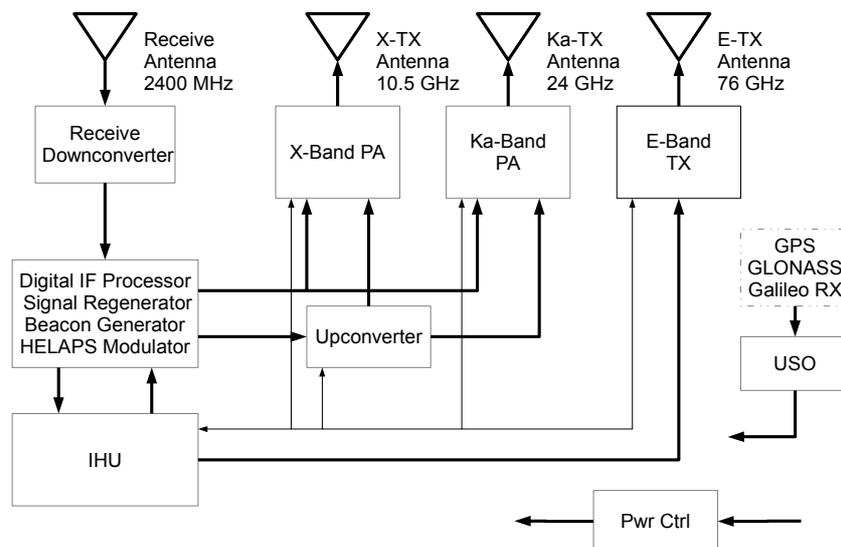


Abbildung 11: Aufbau der SYNCART 2.0 - Nutzlast

Neben den bereits besprochenen Baugruppen für den S-Band-Uplink, die Downlinks im X- und Ka-Band und dem digitalen Umsetzer sind noch zwei weitere Baugruppen dargestellt. Die IHU (Internal Housekeeping Unit) dient als Steuereinheit für die Nutzlast. Betriebs- und Telemetriedaten werden hier gesammelt und als Bakeninformation im X- und Ka-Band eingblendet und ausgesendet.

Alle Baken und Sender sind kohärent und beziehen ihre LO-Frequenzen aus der selben



Referenzquelle. Um die Langzeitstabilität zu verbessern, wird derzeit geprüft, ob es sinnvoll ist, den hoch stabilen Referenzoszillator (USO) an einen Empfänger für GPS, GLONASS und/oder GALILEO zu koppeln. GPS-Empfänger wurden bereits auf mehreren Satelliten – inklusive P3D – erfolgreich auch oberhalb der GPS-Umlaufbahn getestet. Auch wenn keine dauerhaften, autonomen Positions-Fixe realisierbar sind, könnten sich die Signale dennoch zur Gewinnung einer Referenzzeit bzw. -frequenz eignen.

Accomodation/Integration

Da uns genauere Informationen für ein detaillierteres Design fehlen, sind unsere Schätzungen derzeit sehr grob. Wir würden die Interface-Definition präzisieren, wenn wir über mehr Informationen bzgl. eventueller Möglichkeiten des H2Sat verfügen könnten. Der Wunsch wäre eine möglichst große Autonomie, um die Spezifikation möglicher Interfaces möglichst klein zu halten.

Die momentane Planung gehen von folgenden Eckdaten aus:

- Masse des Transponders ca. 6kg
- Volumen des Transponders ca. 6000cm³
- zzgl. Antennen (Durchmesser 50cm, bzw. 13cm)
- ca. 100...150 W Leistungsaufnahme. Dabei können einzelne Teilnutzlasten wie z.B. die Bake oder einer der beiden Downlink-Transponder ausgeschaltet, bzw. der Betrieb generell zeitlich mit den anderen (IOV-) Nutzlasten abgestimmt werden
- Stromversorgung von H2Sat Operations (ESOC) schaltbar
- Eine Datenkommunikation (Telemetrie etc.) mit anderen Systemen des H2Sat ist bisher nicht vorgesehen, wäre aber ggf. wünschenswert.

Als potenziell schwierigste Aufgabe sehen wir derzeit die Definition und Integration der Antennen; insbesondere des vorgeschlagenen S-Band-Uplinks. Ggf. besteht die Möglichkeit, auf einzelnen Bändern Antennen anderer IOV-Nutzlasten mit zu verwenden.

Projektorganisation, zeitliche Planung, Finanzierung

Das Projekt steht unter der zentralen Leitung der AMSAT-Deutschland e.V., wobei einige Teilaufgaben von internationalen Partnerorganisationen (AMSAT-OH (Finnland), AMSAT-ON (Belgien), VUT Brno (Tschechien)) ausgeführt werden.

Erste Diskussionen mit den beteiligten Partnerorganisationen haben ergeben, dass das Projekt zeitnah durchführbar ist. Der Transponder könnte bis Ende 2013 integrationsfertig zur Verfügung stehen.

Von zentraler Bedeutung ist dabei eine zeitnahe Entscheidung über die entsprechende Startmöglichkeit, sowie ein entsprechendes Fein-Design. Es wäre dabei wichtig zu erfahren, welche Antennengröße realistisch wären, und ob es Präferenzen bzgl. der zu



verwendenden Frequenzbänder – insbesondere im Hinblick auf die Vermeidung von Beeinflussung anderer Nutzlasten – gibt. Aus näheren Informationen über eventuell verfügbaren Platz, Masse, Leistung und Thermal Budget ließe sich die Machbarkeit detailliert prüfen; die entsprechenden Informationen müssten dazu noch 2012 zur Verfügung stehen.

Nach den vorliegenden Planungen ist es der AMSAT-DL möglich, die Entwicklung und den Aufbau der Nutzlast aus eigenen Mitteln zu finanzieren. Da uns noch nicht bekannt ist, welche Anforderungen bzgl. Dokumentation, Test und Integration gestellt würden, können wir diesen Posten derzeit noch nicht abschätzen.

Lediglich für Integration und Test (sowie Launch) wären wir ggf. auf Hilfe angewiesen; wobei davon auszugehen ist, dass die (Mehr-)Kosten bei hinreichend früher Planung nur minimal sind.

Zusammenfassung

Ein Amateurfunk-Transponder sowie eine E-Band-Bake wurden für die H2Sat-Mission der DLR vorgeschlagen. Diese Nutzlast wäre innovativ, technisch realisierbar und innerhalb des doch engen Zeitplans realisierbar. Die nötigen Frequenzen sind als Amateurfunkdienst über Satelliten koordinierbar. Die Umsetzung hätte unmittelbaren wissenschaftlich-technischen Nutzen durch die Möglichkeit des Studiums der Ausbreitungsbedingungen im E-Band, und die zu erwartende intensive Beschäftigung von Funkamateuren, Schülern und Studenten mit Satellitentechnik im X- und K-Band. Durch die Verfügbarkeit eines Transponders ohne Einschränkungen durch Satellitensichtbarkeit (wie insbesondere bei LEO-Satelliten) sind Versuche und Demonstrationen insbesondere für Jugendliche im Rahmen des Unterrichts möglich.

Literaturverzeichnis

- [1]: AMSAT-DL e.V., Vereinssatzung,
- [2]: Klein, Perry I.; King, Jan A.; Kinal, George V.; Meinzer, Karl, SYNCART Small Terminal Multiple User Access Experiment, 1971
- [3]: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Für eine zukunftsfähige deutsche Raumfahrt - Die Raumfahrtstrategie der Bundesregierung, 2010, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/B/zukunftsfaeheige-deutsche-raumfahrt,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>
- [4]: Moreau, Michael C.; Davis, Edward P.; Carpenter, J. Russel; Kelbel, David; Davis, George W.; Axelrad, Penina, Results from the GPS Flight Experiment on the High Earth Orbit AMSAT OSCAR-40 Spacecraft, in: Proc. ION 02, 2002
- [4]: Joe Taylor, WSJT Home Page, 2012, <http://physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/>
- [5]: Meinzer, Karl, Lineare Nachrichtensatellitentransponder durch nichtlineare Signalzerlegung, 1973
- [7]: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, Frequenznutzungsplan, 2011