



Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

DIPLOMARBEIT

MOONBOUNCE

SIGNALÜBERTRAGUNG ERDE-MOND-ERDE

PFLICHTENHEFT

VERSION 0.2

STUDENT/AUTOR:

DOMINIK GYGAX

DOMINIK.GYGAX@EDU.HEFR.CH

PROJEKTVERANTWORTLICHER:

DR. LAURENZ ALTWEGG

EXPERTEN:

PIERRE MORARD

PIERRE-ANDRÉ ROUBATY

STUDIENGANG TELEKOMMUNIKATION

06. JUNI 2012

Änderungskontrolle

| Datum | Version | Änderungen, Bemerkungen | Initialen |
|--------------|----------------|---------------------------------------|------------------|
| 06.06.2012 | 0.1 | Kontext, Ziel, Aktivitäten | DG |
| 08.06.2012 | 0.2 | Einleitung, Planung; div. Korrekturen | DG |
| | | | |

Inhalt

| | | |
|-----|-------------------------------------------|----|
| 1 | Einleitung..... | 4 |
| 2 | Projektbeschreibung | 5 |
| 3 | Kontext | 6 |
| 4 | Ziel..... | 7 |
| 5 | Rahmenbedingungen..... | 8 |
| 5.1 | Mondphasen..... | 8 |
| 5.2 | Funkanlage..... | 8 |
| 6 | Aktivitäten..... | 9 |
| 6.1 | Vorstudium: EME..... | 9 |
| 6.2 | EME-Bodenstationen: Kontaktaufnahme | 9 |
| 6.3 | Funkanlage: Inbetriebnahme..... | 9 |
| 6.4 | Funkanlage: Umbau | 9 |
| 6.5 | Funkanlage: Software | 9 |
| 6.6 | EME: Leistungsbilanz..... | 10 |
| 6.7 | EME: Hören + Senden | 10 |
| 7 | Planung | 11 |
| A | Glossar | 12 |
| B | Akronyme | 12 |
| C | Referenzen..... | 12 |

1 Einleitung

"Moonbounce – Signalübertragung Erde-Mond-Erde" ist eine Diplomarbeit im Studiengang Telekommunikation der Hochschule für Technik und Architektur Freiburg. Vorgeschlagen wurde das Projekt von Dr. Laurenz Altwegg (Dozent der HTA-FR). Es handelt sich dabei um ein Telekommunikationsprojekt, wie es reiner kaum sein könnte: Eine Funkverbindung zwischen zwei Bodenstationen auf der Erde, über die längste mögliche Entfernung, 800'000 Kilometer zum Mond und wieder zurück. Die Hochschule für Technik und Architektur Freiburg verfügt über die geeignete Ausrüstung sowie das Know-How für ein solches Projekt.

Dieses Pflichtenheft gibt eine Übersicht über die Idee sowie den Ablauf des Projektes. Das erste Kapitel nach dieser Einleitung beinhaltet den offiziellen *Projektbeschreibung*. Danach folgen Ausführungen zum *Kontext*, aus welchen die *Ziele* folgen. Der Abschnitt *Rahmenbedingungen* beschreibt gewisse Einschränkungen für den Verlauf des Projektes. Alsdann werden die verschiedenen *Aktivitäten* beschrieben, welche die Grundlage für die anschliessend aufgezeigte *Planung* sind. Am Ende des Dokumentes finden sich die Anhänge: ein *Glossar*, die Beschreibung der verwendeten *Akronyme* sowie eine *Referenzenliste*.

Für das vollständige Verständnis dieses Dokuments werden Grundkenntnisse im Bereich der Elektronik, Elektrotechnik und Telekommunikation vorausgesetzt. Dieses Pflichtenheft bildet ausserdem die Grundlage für das gesamte Projekt und dient als Referenz für Erfolg oder Misserfolg.

2 Projektbescrieb

Der folgende Projektbescrieb ist der offizielle Beschrieb, wie er im Intranet der HTA-FR gefunden werden kann. Es ist zu beachten, dass er für zwei Studenten vorgesehen ist. Da das Projekt nun von einem einzelnen Student durchgeführt wird, wird der zweite Teil des Projektes (Beobachtung von astronomischer Strahlung) weggelassen.

Le défi d'une communication utilisant la lune comme réflecteur passif vient la distance de transmission énorme. Il y a encore peu de temps la puissance d'émission et les antennes étaient, eux aussi, énormes. Des innovations récentes de modes numériques à bande très étroite ont palliées les exigences. Le mode JT65B, qui est souvent utilisé, comprime des blocs de texte et module une porteuse par FSK en utilisant 64 sons et une synchronisation.

Notre école dispose de stations terriennes de haute performance pour satellites. La plupart entre eux comprennent des antennes de haut gain avec moteurs azimut et élévation. Dernièrement la station nord était utilisé pour télécommander le satellite SwissCube et pour capter sa télémétrie, y compris celle de sa balise, qui était développé et construite à notre école. La performance des stations peut être encore augmentée en mettant des équipements récemment commandés en œuvre comme un amplificateur de puissance de 1 kW, un préamplificateur à très faible bruit et un commutateur de polarisation.

Les contacts rebondissant de la lune avec des radioamateurs son normalement organisés à l'avance par Internet. Le rapport signal-sur-bruit d'une communication rebondissant de la lune est mieux quand et où le ciel est calme.

La deuxième tâche de ce projet sera alors d'observer des sources naturelles dans le ciel. Maintenant que le soleil est (enfin !) de nouveau plus actif il devrait être possible de mesurer des éclats solaires (solar flares). Dans la littérature on trouve des rapports sur la réception avec des antennes comme les nôtres de Jupiter, Cassiopée A, Cygnus A, Taurus A, Virgo A, M31, la nébuleuse du Crabe (Crab nebula), la nébuleuse de l'Orion etc. Afin de déterminer les positions des astres un logiciel du type « star-finder » peut être utilisé. Ces positions doivent être fournies en temps réel au programme (existant) qui contrôle le positionnement de l'antenne.

Les fréquences utilisées permettent heureusement de travailler du jour et sous un ciel couvert.

| | |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vorgeschlagen von | EIA-FR |
| Anzahl Studenten | 2 |
| Eingeschriebene Studenten | Dominik Gygax |
| Stichworte | EME, VHF, UHF, transmission à longue distance, radio-astronomie |
| Interne Verantwortliche | Laurenz Altwegg |
| Experten | Pierre Morard Pierre-André Roubaty |
| Referenzen | Clair Cessna, "A Beginner's QRP Moonbounce Adventure", QST, February 2012, pp.73-75 Bob Baker, "Moonbounce on a Budget", QST, Jan. 2011 pp.36-38 S. Ford, "JT65 - The 'Musical' Mode", QST, Apr. 2011, pp. 45-46. Feedback, QST, Jun 2011, p. 64 |

3 Kontext

Bereits im Jahre 1940 wurde vorgeschlagen, den Mond als passiven Kommunikationssatelliten zu verwenden. Mit genügend Sendeleistung und rauscharmen Empfängern, so erwartete man, sollte es mit dem damaligen Stand der Technik möglich sein, wenigstens einen Sprachkanal von der Erde aus zu senden und am Mond reflektieren zu lassen.¹ Am 10. Januar 1946 führten die US Streitkräfte von New Jersey aus den ersten erfolgreichen *Moonbounce* durch.²

Als *Moonbounce* wird eine Erde-Mond-Erde-Übertragung von Funksignalen (EME) bezeichnet. Dabei wird, wie zu Beginn angedeutet, die Oberfläche des Mondes als passiver Reflektor eingesetzt. So wird eine Kommunikation zwischen Stationen ausserhalb der direkten Sichtverbindung (LOS, line-of-sight) ermöglicht, ohne dabei die wechselnden Bedingungen der ionosphärischen Ausbreitung berücksichtigen zu müssen. Praktisch angewandt wurde EME beispielsweise für eine Fernschreiber-Verbindung zwischen dem US Navy Hauptquartier in Washington DC, USA und dem Stützpunkt in Pearl Harbour, Hawaii.³

Die Anwendung dieser Technik findet sich heutzutage vor allem im Amateurfunk. Für eine bidirektionale Funkverbindung zwischen zwei Bodenstationen auf der Erde erlaubt EME zurzeit die grösstmögliche Distanz. Kommunikationswege von bis zu 804'500 Kilometern, eine Signallaufzeit von mehr als 2.5 Sekunden, eine Freiraumdämpfung von rund 250 dB (bei einer Wellenlänge von 2 Metern) und die extrem schlechten Reflexionseigenschaften des Mondes machen den *Moonbounce* zu einer der grössten Herausforderungen im Amateurfunk. Solche Übertragungen sind nur mit der geeigneten Technik möglich – bis vor ein paar Jahren nur mit grossen Anlagen und teurer Ausrüstung.^{3,4}

Fortschritte in der digitalen Signalverarbeitung in jüngerer Vergangenheit ermöglichen den Betrieb von EME mit relativ kleinen und kostengünstigen Amateur-Funkanlagen. JT65 beispielsweise ist eine schmalbandige Betriebsart, welche speziell für den Amateurfunkbetrieb mit sehr schwachen Signalen, insbesondere EME, vorgesehen ist. Die benötigte Software um JT65 einzusetzen ist frei erhältlich (zum Beispiel WSJT).⁵

Die Hochschule für Technik und Architektur Freiburg (HTA-FR) verfügt über moderne und leistungsstarke Funkanlagen, welche teilweise für den Satellitenfunk ausgelegt sind. Die Anlage Nord wurde bis im Dezember 2011 zur Kommunikation mit SwissCube (und dessen Steuerung) verwendet. Sie ist für ein Moonbounce-Projekt sehr gut geeignet. Ausserdem kann mit geringen Umbauten die Leistung für EME wesentlich verbessert werden, etwa mit der Installation eines sehr rauscharmen Mastvorverstärkers für 144 MHz und einer Polarisationssteuerung.

4 Ziel

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist, eine bidirektionale Erde-Mond-Erde Verbindung mit einer Bodenstation ausserhalb der direkten Sichtverbindung zu etablieren (siehe Abbildung 1). Um dies zu erreichen, sollen eine der bestehenden Funkanlagen der HTA-FR sowie zeitgerechte Technologien (z.B. JT65) verwendet werden.

Sollte das oben genannte Ziel wider Erwarten vor Ende der Projektdauer erreicht werden, so dass genügend Zeit für zusätzliche Tätigkeiten bleibt, kann im Verlaufe des Projektes eine der folgenden Arbeiten als weiteres Ziel definiert werden:

- Empfang des eigenen Echos: Es soll eruiert werden, ob es mit der bestehenden Anlage möglich ist, bei einer EME das Echo des eigenen Signals zu empfangen. Falls ja, soll versucht werden dies in die Praxis umzusetzen.
- Beobachtung von astronomischer Strahlung: Himmelskörper wie die Sonne, Planeten usw. verursachen messbare elektromagnetische Strahlung. Diese kann beispielsweise bei einer EME störend wirken (Rauschen). Mit der bestehenden Anlage der HTA-FR ist es theoretisch möglich, die Strahlung verschiedener dieser Himmelskörper zu messen.
- Erstellen einer aktualisierten Bedienungsanleitung zur Anlage: Die vorhandene Bedienungsanleitung zum Betrieb der Anlage (inkl. Software) ist teilweise veraltet und mangelhaft. Diese Bedienungsanleitungen auf den neuesten Stand zu bringen und zu vervollständigen wäre sehr hilfreich für zukünftige Projekte.

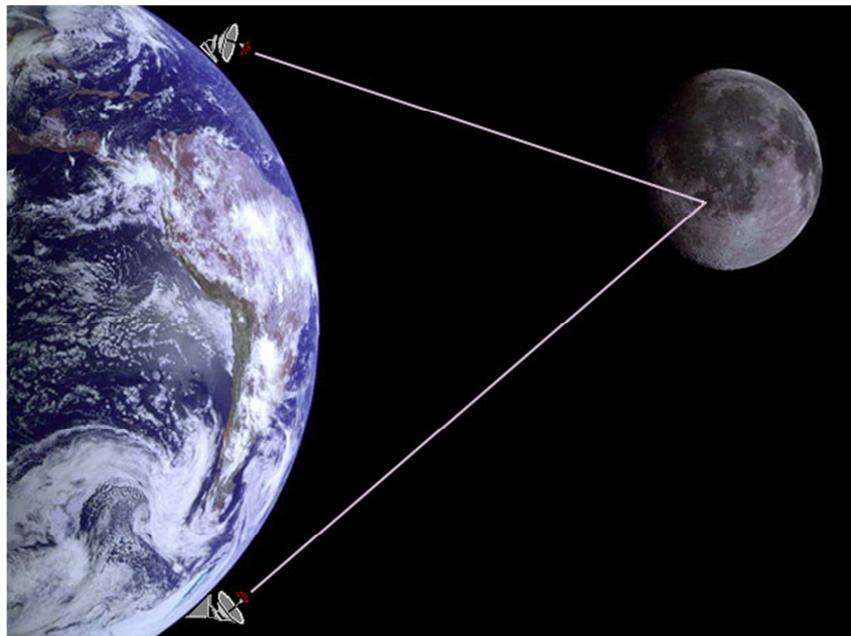


Abbildung 1: Moonbounce, einfache Darstellung

5 Rahmenbedingungen

Die Rahmenbedingungen für das Projekt *Moonbounce* haben vor allem einen Einfluss auf die Planung; der Ablauf ist teilweise abhängig von den Mondphasen. Ausserdem gibt es Einschränkungen betreffend der Funkanlage.

5.1 Mondphasen

Die Tageszeiten, an welchen EME möglich ist, sind abhängig von den Mondphasen. Einige Tage vor sowie nach Neumond ist es möglich, EME tagsüber zu betreiben. Einige Tage vor, bis einige Tage nach Vollmond ist EME nur nachts möglich. Folgende Tabelle zeigt die Hauptphasen des Mondes während der Dauer des Projektes:

| Woche (KW) | 1 (22) | 2 (23) | 3 (24) | 4 (25) | 5 (26) | 6 (27) | 7 (28) |
|------------|----------------|----------|-----------------|---------|----------------|----------|-----------------|
| Mondphase | Erstes Viertel | Vollmond | Letztes Viertel | Neumond | Erstes Viertel | Vollmond | Letztes Viertel |
| Datum | 28.5.12 | 4.6.12 | 11.6.12 | 19.6.12 | 27.6.12 | 3.7.12 | 19.6.12 |

Tabelle 1: Hauptphasen des Mondes während des Projektes⁶

Ausserdem spielt die Position des Mondes eine Rolle in Bezug auf die Freiraumdämpfung sowie das Hintergrundrauschen. Einen Tag vor und nach, sowie am Tag des Neumondes ist es wegen der elektromagnetischen Strahlung der Sonne nahezu unmöglich, EME erfolgreich zu betreiben. Befindet sich der Mond vor der Milchstrasse, ist das Hintergrundrauschen ebenfalls erhöht und verschlechtert die Verhältnisse.

5.2 Funkanlage

Eine weitere Bedingung für das Projekt ist die Verwendung einer der bestehenden Funkanlagen der HTA-FR. Die Anlage kann umgebaut werden, die Materialkosten müssen aber gering bleiben, d.h. im Bereich des Möglichen für einen Amateurfunker. Ausserdem müssen Bestellungen so früh als möglich getätigt werden, damit allfällig benötigtes Material rechtzeitig geliefert wird.

6 Aktivitäten

Bevor eine EME erfolgreich durchgeführt werden kann, sind verschiedene Vorkenntnisse und Vorbereitungsarbeiten notwendig. Folgende Aktivitäten (Zwischenziele) werden für den Ablauf des Projektes definiert:

6.1 Vorstudium: EME

Gute Kenntnisse über EME sowie die verwendeten Technologien sind für den Erfolg des Projektes unabdingbar. Einer der ersten Schritte ist deshalb das Studium und die Dokumentation von EME mit Hilfe von Literatur sowie Erfahrungsberichten.

6.2 EME-Bodenstationen: Kontaktaufnahme

Um eine EME-Verbindung mit einer entfernten Bodenstation etablieren zu können, muss diese zuvor kontaktiert werden. Auf dem Internet existieren Chatrooms, welche bei der Kontaktaufnahme nützlich sein können. Eine erste Kontaktaufnahme sollte ca. Ende der zweiten Woche versucht werden.

6.3 Funkanlage: Inbetriebnahme

Die Funkanlage für SwissCube, welche vermutlich verwendet wird, wurde seit Dezember 2011 nicht mehr benutzt. Diese muss wieder in Betrieb genommen und die Funktion kontrolliert werden. Ausserdem ist das Handling der Anlage zu erlernen. Zu diesem Zweck wird versucht, das Signal des Satelliten SwissCube zu empfangen. Um die Kenntnisse zu festigen, kann versucht werden, Signale von weiteren Satelliten zu empfangen. Bis in der zweiten Woche sollte das Handling der Funkanlage bekannt und gefestigt sein.

6.4 Funkanlage: Umbau

Für EME sind diverse Umbaumaassnahmen der Funkanlage notwendig. Ein rauscharmer Mastvorverstärker für den Empfang von 144 MHz, ein Remote Switch für die Kontrolle der Polarisation sowie ein 1000 W Sender konnten bereits vorgängig bestellt werden. Diese Materialien sind zu installieren und in Betrieb zu nehmen. Ausserdem muss so bald als möglich eruiert werden, ob weiteres Material benötigt wird, um dieses rechtzeitig bestellen zu können. Der Umbau sollte bis Ende der zweiten Woche soweit möglich erledigt sein, damit in der dritten Woche die Funktionalität der Anlage getestet werden kann.

6.5 Funkanlage: Software

Für den Betrieb von EME muss unter Umständen neue Software installiert werden. Diese steht grösstenteils gratis zur Verfügung. Die Software muss installiert und in Betrieb genommen werden. Kostenpflichtige Software soll nur wenn nicht anders möglich verwendet werden. Falls

keine neue Software benötigt wird, muss die bestehende Software für EME angepasst werden. Die Software sollte spätestens gegen Ende der dritten Woche angepasst sein.

6.6 EME: Leistungsbilanz

Vor den ersten Versuchen sollte eine Leistungsbilanz erstellt werden. Da die Anlage bereits für SwissCube verwendet wurde, kann die Leistungsbilanz von SwissCube teilweise übernommen und die veränderten Parameter angepasst sowie zusätzliche Parameter eingefügt werden. Dieser Punkt kann in der dritten Woche erledigt werden.

6.7 EME: Hören + Senden

Bevor eigene EME Signale gesendet werden, empfiehlt es sich zu versuchen, EME-Signale von anderen Stationen zu empfangen. Dazu wird bereits die umgebaute Anlage verwendet. Mit Berücksichtigung der Mondphase wäre es von Vorteil, erste Versuche bereits in der zweiten Hälfte der dritten Woche machen zu können, spätestens aber nach dem Neumond am 19. Juni.

Sobald der Empfang von EME-Signalen bestätigt werden kann, gilt es, selber eine Verbindung mit EME zu initiieren. Dazu ist vorgängig der Kontakt zu einer entfernten Bodenstation aufzunehmen und der Versuch zu planen.

7 Planung

Da für diese Art Projekt eine Detailplanung kaum möglich ist, wird darauf verzichtet. Stattdessen wird eine Grobplanung erstellt, welche die Aktivitäten sowie wichtige Eckdaten enthält. Die Planung basiert auf den in Kapitel 6 beschriebenen Aktivitäten sowie folgender Prioritätenliste, welche ebenfalls auf den erwähnten Aktivitäten basiert:

1. Verstehen von Theorie und Funkanlage
2. Umbau der Anlage (inkl. Materialbestellungen)
3. Kontakt mit EME-Stationen
4. EME-spezifische Tätigkeiten (Software, Leistungsbilanz, Moonbounce)

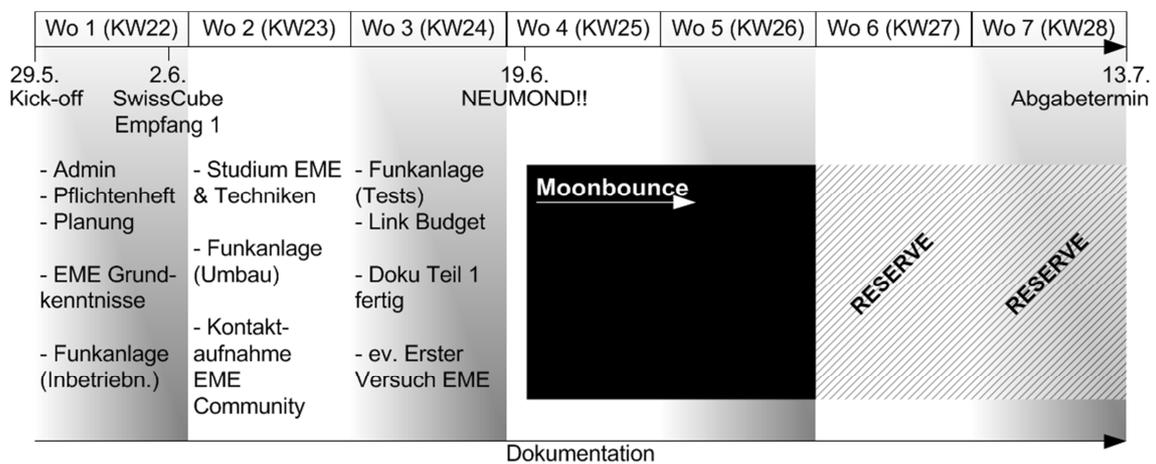


Abbildung 2: Planung

Die vorgesehene Reserve während der letzten zwei Wochen des Projektes dient als Pufferzone, falls im Verlauf des Projektes grössere Probleme auftreten (Lieferverzögerungen, Defekte, Probleme beim Moonbounce, usw.). Ausserdem wird während dieser Zeit die Dokumentation beendet.

A Glossar

| | |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Moonbounce | Erde-Mond-Erde Übertragung von Funksignalen, siehe Kontext S. 4 |
| Amateurfunk | |
| SwissCube | Erster, komplett in der Schweiz entwickelter und hergestellter Satellit, siehe http://swisscube.epfl.ch |

B Akronyme

| | |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EME | Erde-Mond-Erde Übertragung von Funksignalen, siehe Kontext S. 4 |
| LOS | Line-of-sight, Sichtverbindung (ohne Hindernis) |
| HTA-FR | Hochschule für Technik und Architektur Freiburg, Teil der Fachhochschulen Westschweiz HES-SO, siehe http://www.eia-fr.ch |

C Referenzen

- ¹ Pether, John (1998), *The Post Office at War*, Bletchley Park Trust, S. 25 (via [http://en.wikipedia.org/wiki/EME_\(communications\)](http://en.wikipedia.org/wiki/EME_(communications)))
- ² Butrica, Andrew J. (1996), <http://history.nasa.gov/SP-4218/ch1.htm>, *To See the Unseen: A History of Planetary Radar Astronomy*, NASA
- ³ Wikipedia (2012), [http://en.wikipedia.org/wiki/EME_\(communications\)](http://en.wikipedia.org/wiki/EME_(communications)), *EME (communications)*
- ⁴ Schmidt, Karl (DK5EC), <http://www.darc.de/distrikte/g/25/anleitungen/erde-mond-erde/>, *EME-Erfahrungsbericht als Einsteiger*, Deutscher Amateur-Radio-Club DARC
- ⁵ Dr. Taylor, Joe (K1JT) (2005), <http://physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/JT65.pdf>, *The JT65 Communications Protocol*
- ⁶ Wikipedia (2012), [http://de.wikipedia.org/wiki/Mondphasen_\(Tabelle\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Mondphasen_(Tabelle)), *Mondphasen (Tabelle)*