

## Weltraummissionen als Blaupause für eigene Projekte

In Bezug auf den Beitrag „ESA verlängert acht Wissenschaftsmissionen“ in *Sterne und Weltraum* 02/2018, Rubrik *Nachrichten*

Dr. Uwe Herbstmeier

Auch wenn Raketenstarts heute sehr häufig geworden sind, faszinieren uns die Erfolge der Wissenschaftsmissionen, in Verantwortung der ESA zum Beispiel, immer wieder. Anlässlich ihrer Verlängerung werden laufende Weltraummissionen als größere Projekte betrachtet. Wie wär's? Könnte man in Analogie zu einem Satellitenprojekt einen geplanten Ausflug der Klasse einmal gemeinsam genau so vorbereiten?

Gehen wir nun Schritt für Schritt durch das Raketenprojekt als Blaupause für die Vorbereitung eines Klassenprojekts:

Zielsetzung: als Überblick, was mit dieser Vorgehensweise erreicht werden soll.

Von der Idee zum Projekt Wie wird ein Projekt ins Leben gerufen?

Ist die Idee umsetzbar? Was ist zu tun, um die eigenen Zielen zu erreichen?

Eine Idee wird Wirklichkeit: Nun werden die vielen einzelnen Schritte getan.

Los geht's: Start und Betrieb eines Satelliten ist wie Losfahren und einen Ausflug machen.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Stufe	Sekundarstufe I / Mittelstufe	Klassen 8 bis 10
Astronomie	Raumfahrt	Beobachtungs- und Messmethodik
Naturwissenschaft	Grundlegende Technik	Vergleich
Fächer- verknüpfung	Astro – Gemeinschaftskunde Astro – Technik Astro – Deutsch	Projekte, Organisation in Gemeinschaft mit heterogenen Gruppen  Zusammenfassung, Beschreibung, Tagebuch, Journalismus
Lehre allgemein	Kompetenzen (Wissen und Erkenntnis), Unter- richtsmittel	Gruppenarbeiten, Einzelverantwortung, Rollen übernehmen, aus Analogien lernen



Abbildung 1 – Start von XMM-Newton auf einer Ariane 5 Trägerrakete. Der Satellit gehört zu einer der 2017 verlängerten Weltraummissionen. (Quelle: ESA / CNES / Arianespace-Service Optique CSG, [http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2002/02/Ariane\\_504\\_s\\_launch](http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2002/02/Ariane_504_s_launch))

## Zielsetzung: Komplexität großer Projekte erfassen und auf eigene Situation übertragen

[\[zurück zum Titel\]](#)

Komplexe Projekte sind immer wieder Grundlage unseres alltäglichen Lebens aber werden auch unternommen, um faszinierend neue Einblicke in die Natur zu gewinnen. So haben die oberen Klassen der Sekundarstufe I bereits mehrfach Ergebnisse aus großen naturwissenschaftlich motivierten Raumfahrtprojekten oder anderer Großeinrichtungen kennengelernt. Aber auch große Baustellen, die überall zu finden sind (man denke an den Frankfurter Flughafenausbau, die Elbphilharmonie oder aber andere bekannte große Projekte), sowie aus dem Geographieunterricht bekannte weltweite Unternehmungen (Staudämme etc.) sind hier zu nennen.

So ist es sinnvoll, sich im Rahmen des Unterrichts folgenden Fragen zu stellen: Wie laufen derartige Projekte ab? Welche Personengruppen sind hier beteiligt, in welcher Rolle? An welche Einzelheiten muss gedacht werden? Wie arbeite ich mit einer großen Zahl von Personen so zusammen, dass alles im Rahmen der vorgegebenen Zeit zu einem guten Ende kommt?

Warum nicht einmal diese Überlegungen auf ein eigenes Ziel übertragen? Dazu soll ein Klassenausflug idealerweise zu einer außerschulischen Bildungseinrichtung oder aber auch zum Vergnügen entsprechend vorbereitet werden.

Es lohnt sich die Gestaltung von Projekten kennenzulernen, da auch in vielen Industriebetrieben neue Produkte oder Ideen in ähnlicher Weise entwickelt werden. Wie, ob mehrere Unterrichtsstunden insgesamt dafür verwendet werden oder nur begleitend zum laufenden Unterricht vorgegangen wird, hängt von den zeitlichen Möglichkeiten und dem eigenen Projektumfang ab.

Die folgenden Kapitel sind so aufgebaut. Zunächst wird ein Überblick über das Vorgehen bei Satellitenprojekten gegeben, dann wird an Hand einer Tabelle eine Analogie zwischen Raumfahrt und Klassenvorhaben gezogen. Diese Tabelle wird ergänzt durch einige Tipps zur feineren Gestaltung. Da nicht für jedes Thema eines Raumfahrtprojekts ins Detail gegangen werden kann, wird im Anhang versucht am Beispiel der Entwicklung einer Elektronikbaugruppe diese Detaillierung ausführlicher zu beschreiben.

## Von der Idee zum Projekt

[\[zurück zum Titel\]](#)

### *Ein Satellitenprojekt*

Der genaue Beginn eines großen Projekts lässt sich meist nicht mehr festlegen. Es treffen meistens mehrere Entwicklungen aufeinander. Zum einen bietet eine Raumfahrtorganisation, wie in unserem Fall die ESA, Kooperationen im Rahmen ihres jeweiligen Programmzyklus an. Projektteams können sich für diese Missionen bewerben. Auf der anderen Seite gibt es verschiedene Gruppen, die in den unterschiedlichsten wissenschaftlichen Gebieten ausreichend Erfahrung gesammelt haben, um wissenschaftliche Ziele mit Hilfe eines Raumfahrtprojekts erreichen zu können.

Ist die Idee nun fest im Kopf, muss sie formuliert werden und zwar so, dass sie für alle klar, überzeugend und auch spannend vermittelt wird. Denn es gilt, sich gegen Vorschläge anderer Teams um das knappe Budget und die kostbare Satellitenzeit durchzusetzen. Das bedeutet zunächst einmal:

- Möglichst Partner zu finden, die ähnliche Interessen haben. Dies erleichtert alle Begründungen und auch die Finanzierung der Teilprojekte. Dabei ist ein Kriterium, dass diese Partner entweder entsprechende Erfahrungen aufweisen (Vorgängerprojekte) und / oder in einer Position sind, die eine sichere Finanzierung des Vorhabens gewährleistet. Oftmals sind dies auch sehr heterogene, internationale Teams.

- Durch Voruntersuchungen (auch im Labor) die Machbarkeit des Vorschlags auszuprobieren und prinzipiellen Risiken und ihre Gegenmaßnahmen herauszufinden.
- Eine überzeugende Präsentation des Vorschlags inklusive der Risiken und zu erwartenden Kosten auszuarbeiten. Denn meistens stellen sich eine Reihe von Teams mit ihren Ideen vor. Es geht bei der Vorstellung darum die entsprechenden Gremien von der eigenen Idee und ihrer technischen aber auch finanziellen Umsetzbarkeit zu überzeugen.

Am Ende dieser Phase steht die Freigabe des Projekts durch Entscheidungsträger der Raumfahrtorganisation. Nun kann begonnen werden.

### *Das Klassenprojekt*

Die Analogien:

<i>Raumfahrtprojekt</i>	<i>Klassenprojekt</i>
Projektbeginn	z.B. Schuljahresbeginn
Raumfahrtagentur	Sie als Lehrer
Programmzyklus	Die Vorstellungen zu Klassenfahrten im laufenden Schuljahr
Ausschreibung der Projekte	Vorstellungen und Vorgaben durch den Lehrer über den Inhalt der Klassenfahrt
Bewerber um ein Projekt	Schülerinnen und Schüler mit entsprechenden Ideen
Projektteams	Gruppen aus der Klasse, die sich um die Ideengeber scharen
Weitere Partner	Eltern, Förderverein, Fachlehrer zu gewissen Themen, Partnerschule im Ausland
Machbarkeitsüberlegungen	Die Idee im Einzelnen ausarbeiten; überlegen, welche Ziele erreicht werden können, wie die Umsetzung erfolgen könnte
Präsentation	Vorstellung dieser ausgearbeiteten Ideen vor der Klasse
Entscheidungsgremium	Sie als Lehrer evtl. mit Delegierten aus der Klasse, oder aber die ganze Klasse zusammen

Zur Einstimmung könnte als erstes ein Video eines Raketenstarts oder ein passendes Bild gezeigt werden. Beispiele finden sich auf den Internet-Seiten der ESA und der NASA. Zwei Möglichkeiten: Start des Satelliten Gaia: [http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/12/Gaia\\_launch\\_-\\_Lift-off](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/12/Gaia_launch_-_Lift-off) von Sentinel 2b: [http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2017/03/Sentinel-2B\\_launch\\_full\\_replay](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2017/03/Sentinel-2B_launch_full_replay)

Allgemein siehe:

<http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos>

<http://www.esa.int/spaceinimages/Images>

<https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/index.html>

<https://www.nasa.gov/multimedia/videogallery/index.html>

In der ersten Runde wird die Idee vorgestellt. Hier und in allen folgenden Kapiteln sollten sich die Schülerinnen und Schüler zunächst damit auseinandersetzen, was aus ihrer Sicht alles erforderlich ist um die verschiedenen Stufen des Raumfahrtprojekts zu meistern.

Anschließend werden von der Klasse die Analogien herausgearbeitet und dann auch so bearbeitet wie selbst überlegt. Allgemein ist es hilfreich, die Projektschritte zu erfassen. Eine kleine Gruppe sollte entsprechend ausgewählt werden, diese „Projektdokumentation“ mit allen Medienmöglichkeiten zu erstellen.

Zur Projektauswahl siehe auch den WiS!-Unterrichtsvorschlag: [Argumente für bedeutende astronomische Projekte](#) (Herbstmeier, WiS! MS 5 / 2014)

## Ist die Idee umsetzbar?

[\[zurück zum Titel\]](#)

### *Ein Satellitenprojekt*

Das Ziel ist jetzt klar definiert und auch die Ideen wie man zum Ziel gelangt sind auf dem Tisch. Um sich auf den Weg zu machen, müssen nun alle Teilaspekte eines Raketenstarts und Satellitenbetriebs bedacht werden.



**Abbildung 2 – Eine Rakete wird zerlegt (Quelle: Uwe Herbstmeier basierend auf Abbildung 1)**

### Das Messgerät

Der sogenannte PI (Principal Investigator, das ist der Hauptideengeber für das Experiment) und sein Team müssen nun folgendes angehen: Der Messaufbau wird im Detail entworfen. Die einzelnen Komponenten werden definiert. Diese müssen den Umgebungsbedingungen beim Start der Rakete (hohe Beschleunigungen und Vibrationen) ebenso im freien Weltraum (die Strahlenbelastung durch Sonne und Kosmos) standhalten. Die tragenden Mechanikteile werden konstruiert, z.B. das Gehäuse oder die Optikkassungen. Die optischen Elemente auf dem Lichtweg werden berechnet und entworfen. Welche Materialien ergeben welche Effekte (Filter, Linsen, Spiegel). Jedes Teil im Messgerät muss autonom arbeiten oder in Folge eines Kommandos aus der Bodenstation. Dafür sind Elektronikkomponenten wie z.B. die Steuereinheit, die Kommunikationselemente, die Messelektronik etc. zu definieren.

### Der Satellit

Das Messgerät wird in einen Satelliten eingebaut. Dieser ist sozusagen das zu Hause mit all seinen Schutzfunktionen. Hier muss die entsprechende Mechanik, vielleicht auch Kryostatik, und die Elektronik konzipiert werden. In der Astronomie ist es erforderlich, die Beobachtungsobjekte erst einmal auf die Ebene des Messgeräts abzubilden. D.h. es muss ein Teleskop entwickelt werden, je nach Wellenlängenbereich mit unterschiedlichen Anforderungen (wie erfolgt die Lichtbündelung, wie unterdrücke ich störendes Licht aus der Umgebung, von nahen hellen Himmelskörpern wie Sonne, Mond, Erde). Ist es vielleicht so, dass das Messgerät sich den Platz mit anderen Messgeräten teilen muss? Es müssen alle Schnittstellen zwischen diesen Teilen und dem Satelliten festgelegt werden. Wo kann was angebracht werden? Welche Maße sind miteinander verträglich? Welche Gewichte sind maximal zulässig? Meist ist dabei eine enge Zusammenarbeit zwischen der Weltraumagentur, hier die ESA, und dem oder den PI-Teams erforderlich. Auch gibt die ESA in ihren Standards vor, welche Anforderungen die Elemente erfüllen müssen, die mit dem Satelliten mitfliegen dürfen (Zuverlässigkeit und Weltraumtauglichkeit, maximaler Energieverbrauch u.Ä.).

## Die Rakete

Auch die Trägerrakete muss ähnlich vorbereitet werden. In den meisten Fällen greifen Satelliten auf eine fertig entwickelte Rakete zurück, die als Serienteil gebaut wird. Aber auch hier sind die notwendigen Schnittstellen zu der Nutzlast, dem Satelliten, festzulegen. Die Rakete wird meist von einem Industriekonsortium gebaut. Hier müssen die entsprechenden Verträge abgeschlossen werden – eine Verantwortung der ESA. Auch für den Satelliten und die jeweiligen Messgeräte, werden die Forschungsinstitute der Wissenschaftler, die das Experiment beantragt haben, bzw. die ESA in der Regel den Bau der komplexen Teile nicht selbst ausführen können. Meist sind hier erneut Gruppen von Industriebetrieben mit im Boot, mit denen entsprechende Anforderungen festzulegen und auch die passenden Verträge auszuhandeln sind. All das muss finanziert werden. Jede Gruppe innerhalb des Gesamtprojekts ist somit in der Pflicht, die notwendigen Gelder zu beantragen.

## Die Infrastruktur

Die Rakete wird gestartet, der Satellit wird überwacht, das Messgerät wird genutzt und betreut. Auch hierfür sind Konzepte auszuarbeiten. Welche Bodenstationen werden wie einbezogen? Welche Satellitenbahn ist auszuwählen. Wie erfolgt der Transfer der Kommandos vom Boden zum Satelliten und wie der der Daten von Messgerät zur Bodenstation? Wie sind diese Daten auszuwerten?

Jeder einzelne Punkt gliedert sich weiter auf in verschiedene Elemente. So können z.B. an der mechanischen Struktur des Experiments auch einzelne Firmen unterschiedliche Spezialteile ausarbeiten, die dann ein Teil ergeben. Im Anhang wird versucht, dies an Hand einer Elektronikkomponente aufzuzeigen.

## *Das Klassenprojekt*

### Die Analogien:

<i>Raumfahrtprojekt</i>	<i>Klassenprojekt</i>
Messgerät mit Mechanik, Optik, Elektronik	Das Programm der Klassenfahrt, z.B. zu einer Einrichtung, welche Ziele werden in welcher Art verfolgt?
Satellit mit den Schnittstellen zum Experiment	Die Rahmenbedingungen des Programms (wer kann angesprochen werden, Eintrittspreise, Führungen)
Rakete	Das Transportmittel (Bus, Zug, PKW der Eltern)
Die Infrastruktur	Der Weg zum Ziel, wie werden die Erlebnisse aufgezeichnet und weitergegeben? Welche Verpflegung ist zu bedenken?
Verträge mit Industriebetrieben	Wer liefert den Reisebus, fahren wir mit der DB, gibt es Eltern, die die Gruppe fahren können?
Finanzierung	Wie können wir die Kosten bezahlen? Sind die Eltern bereit dazu? Gibt es Mittel vom Förderverein?

Weitere Analogien können für jedes Detail gesucht werden. Wie einem großen Projekt ist es nun erforderlich auch die Verantwortlichen für die gefundenen Schritte zu benennen. Dabei wird auch erkannt, welche Aufgabenketten sich bilden, da nicht alles unabhängig voneinander ausgeführt werden kann.

## Eine Idee wird Wirklichkeit – in mehreren Stufen

[\[zurück zum Titel\]](#)

### *Ein Satellitenprojekt*

Eine Idee wurde nun in viele konkrete Schritte übersetzt. Jetzt geht es an die Umsetzung. Jede verantwortliche Gruppe wählt Materialien und Fertigungsprozesse aus, die das geforderte Ergebnis liefern sollen. Man kann erkennen, dass hier wieder eine ganze Kette einzelner Schritte erforderlich ist: Einkauf, Anlieferung, Fertigung, Prüfung, Versand und manche unterstützenden Tätigkeiten (z.B. Befundung und Reparatur bei Fehlern).

### Das Messgerät

Die Teile des Messgeräts werden gebaut und zusammengesetzt. Hier erfolgen bereits erste Tests auch mit den Einzelteilen, um sicherzustellen, dass die folgenden Schritte erfolgreich zu Ende geführt werden können. Oft sind dabei Rückschläge zu meistern. D.h. Probleme bei diesen Tests können dazu führen, dass ein Grundkonzept nochmals neu überdacht werden muss. Nicht nur die konkreten Teile sondern auch die Programmierung der entsprechenden Prozessoren auf der Elektronik erfolgt nun. Auch hier muss ausgiebig getestet werden. Neben den gerätenahen Programmen ist es auch erforderlich die Anwendungsprogramme zu schreiben. Sie sollen das Beobachten der Nutzer effizient gestalten und erleichtern, daneben aber auch die Auswertung der Rohdaten ermöglichen, damit die Ergebnisse aus den Störeinflüssen hervortreten. Hier ist das PI-Team mit seinen Industriepartnern in der Verantwortung.

Die Entwicklung der einzelnen Teile erfolgt meist in mehreren Phasen. Zunächst wird ein Modell aufgebaut, das die wesentlichen Funktionen beherrscht. Damit wird gezeigt, dass das endgültige Messinstrument die geforderten Eigenschaften erreichen kann. Anschließend wird ein Qualifikationsmodell gebaut, das dann in die ersten Tests geht. Ist alles in Ordnung wird das Instrument gebaut, das in den Weltraum befördert werden soll zusammen mit einem Ersatzmodell, das bei wesentlichen Defekten auf dem Entwicklungsweg in die Rakete zum Zuge kommt.

### Der Satellit

Parallel zum Messgerät wird auch der Satellit aufgebaut. Mechanik, Elektronik aber auch die Optik sind hier die einzelnen Komponenten, die von verschiedenen Partnern erstellt und zusammengesetzt werden. Ein Beispiel ist der Röntgenspiegel des XMM-Teleskops in Abbildung 3.

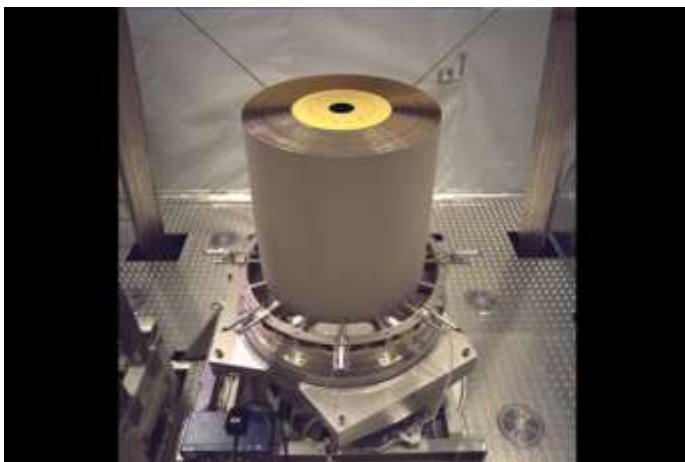


Abbildung 3 – Herstellung des Röntgenspiegels des Satelliten XMM

(Quelle: ESA, [http://www.esa.int/spaceinimages/Images/1998/01/XMM\\_mirror\\_production6](http://www.esa.int/spaceinimages/Images/1998/01/XMM_mirror_production6))



Der zusammengebaute Satellit wird nun in den Test-Kammern der ESA Weltraumbedingungen ausgesetzt. So simuliert man z.B. die Vibrationen beim Start und betrachtet die Stabilität der Konstruktion. Oder der Satellit wird einer Strahlung ausgesetzt, die der Sonne im freien Weltraum entspricht. Damit wird untersucht, ob Teile des Satellits durch die harte Strahlung beschädigt werden.



**Abbildung 4 – XMM, Zusammenbau und Tests in den Räumen der ESA bei ESTEC (Nordwijk, NL)**  
(Quelle: ESA - Anneke Le Floch,  
[http://www.esa.int/spaceimages/Images/1998/01/XMM\\_STM\\_assembly\\_and\\_testing\\_at\\_ESTEC9](http://www.esa.int/spaceimages/Images/1998/01/XMM_STM_assembly_and_testing_at_ESTEC9))

### Die Rakete und Infrastruktur

Die Rakete wird gemäß den Serienproduktionsprozessen der Firmen hergestellt und zusammengebaut. Auch die Programmierung erfolgt entsprechend.

Die Bodenstationen werden eingerichtet, die Mannschaft zur Betreuung des Satelliten und der Messgeräte wird ausgesucht und trainiert. Die Programme zur Steuerung der Teile werden geschrieben und ein genauer Missionsplan wird erstellt. Auch werden Dokumente (Handbücher) geschrieben, die die einzelnen Teile genau beschreiben, um im Fehlerfall möglichst schnell eine Problemlösung zu finden.

Nun ist alles bereit für die Startvorbereitungen.

### *Das Klassenprojekt*

#### Die Analogien:

<i>Raumfahrtprojekt</i>	<i>Klassenprojekt</i>
Bau und Programmierung des Messgeräts und des Satelliten	Das Programm der Klassenfahrt wird festgelegt, die einzelnen Themen werden in der Klasse vorbereitet. Führungen werden fest verabredet. Eintrittspreise liegen vor.
Tests des Messgeräts und des Satelliten	Die Bestätigung für die Buchung der Führungen werden eingeholt. Ein Testlauf durch eine kleine Gruppe (Lehrer, Eltern) erfolgt.
Rakete	Das Transportmittel ist ausgewählt und gebucht. Die Dokumente stehen zur Verfügung (Fahrkarten oder Reservierungsbestätigungen)
Die Infrastruktur	Die Wege sind festgelegt. Die Verpflegung ist organisiert.
Finanzierung	Die Finanzierung ist gesichert.

Für die Umsetzung der einzelnen Teile ist es erforderlich, dass auch ein Terminplan eingehalten wird. Die Klasse will ja an einem festen Tag ihren Ausflug machen. Die Ergebnisse der einzelnen Schritte und auch die Einhaltung dieser Termine wird vom Lehrer oder einer Schülergruppe überwacht. In jedem Projekt gibt es einen (und oft mehrere Teil-)Projektleiter, die genau diese Aufgabe ausfüllen müssen. Wenn etwas schiefläuft, muss der Projektleiter nach Alternativen Ausschau halten, damit das Gesamtziel noch erreicht werden kann.

## Los geht's

[\[zurück zum Titel\]](#)

### *Ein Satellitenprojekt*

Die Teile sind fertig und für sich getestet. Auch die Integration aller Teile in eine Rakete lief erfolgreich. Jetzt gibt es ein festes Startfenster, das eingehalten werden muss (je nach Ziel ist dies auch nicht verschiebbar ohne längere Wartezeiten zu provozieren). Der Start wird vorbereitet. Die Rakete wird mit Treibstoff befüllt. Auch der Satellit erhält alles, was er für seine Mission benötigt. So sind für manche Experimente Kühlmittel, z.B. flüssiges Helium notwendig. Die Bodenstation wird von den ausgesuchten und geschulten Fachleuten besetzt.

Der Start naht, die beteiligten Personen sind eingeladen, den Start so nah wie möglich zu verfolgen.

**10...9...8... ... 2...1... Start!**

Die ersten Minuten sind nun kritisch. Verläuft die Flugbahn so wie vorausberechnet? Erfolgen alle automatisch einprogrammierten Manöver (Trennen von Raketenstufen) gemäß Vorplanung? Sind am Ende die Instrumente auf ihrer endgültigen Bahn? Kann der Satellit kontaktiert werden? Sind alle Funktionen auf dem Satelliten bereit?

Wenn alles überstanden ist, beginnt ein gründlicher Check aller relevanten Instrumente und die ersten beobachtungstechnischen Messungen erfolgen (Kalibrierung der Geräte, Referenz- und Testmessungen). Alles läuft bestens. Die Beobachtungen können beginnen.

Das Beobachtungsprogramm wird abgearbeitet. Dabei überwacht die Bodenstation die Funktionen des Satelliten und der Messinstrumente. Die Daten werden zur Erde übertragen, dort gespeichert und über Standardverfahren ausgewertet. Die Ergebnisse erhält der Antragsteller.

Im Rahmen der Entwürfe für die verschiedenen Teile des Satelliten kann abgeschätzt werden, wie lange der Satellit in Betrieb sein wird. Oftmals wird diese erwartete Funktionsdauer jedoch überschritten. Daher ist es erforderlich, wie im Artikel von *Sterne und Weltraum* beschrieben, über den weiteren Betrieb des Satelliten zu entscheiden. Jetzt ist es wichtig, abzuwägen, wie sinnvoll ist es über einen festgelegten Zeitraum das Projekt weiter zu finanzieren. Sind neue Erkenntnisse zu erwarten? Werden die Kosten keine neueren Projekte zu stark gefährden? Sind bereits Nachfolgeprojekte zu dem Thema unterwegs? Falls eine Verlängerung beschlossen wird, müssen die entsprechenden Grundlagen (Finanzierung, Auswertung der Ergebnisse) festgelegt werden.

Am Ende einer Mission wird über das Schicksal des Satelliten entschieden (gezielter Absturz?). Die Verwaltung und Nutzung der gewonnenen Daten wird festgelegt. Die Projektabschnitte werden nochmals Revue passieren gelassen. Was war gut, was lief schlecht? Was kann man daraus lernen? Dies dient dann als Grundlage für weitere ähnliche Projekte.



## Das Klassenprojekt

### Die Analogien:

<i>Raumfahrtprojekt</i>	<i>Klassenprojekt</i>
Startvorbereitungen	Treffpunkt, alle finden sich vorbereitet und mit den notwendigen Dingen versehen ein
Start	Los geht's – das Verkehrsmittel setzt sich in Bewegung, alle winken und sind froh
Kritische Minuten	Sind alle an Bord, wurde auch nichts vergessen, geht es allen gut?
Erreichen der Zielbahn, Messungen, Ergebnisse	Nun ist man am Ort, das Programm wird abgearbeitet, der Ausflug wird dokumentiert
Verlängerung der Mission	Alles ging schneller als erwartet, noch ist Zeit, vielleicht für ein Eis. Die Gruppe entscheidet.
Ende der Mission und Rückkehr	Heimfahrt
Projekt-Rückschau	Unterricht danach, was bleibt vom Ausflug

Viel Vergnügen! Für die nächste Klassenfahrt sind alle bestens vorbereitet.



**Abbildung 5 – Auf dem Weg - ein Ausflug ins Skilandheim**  
(Quelle: Lisbeth Herbstmeier)

## Danksagung

Ich möchte meinen herzlichen Dank an Herrn Dr. Dietrich Lemke, emeritierter Professor am Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg aussprechen. Als kleiner Teil seines Teams zum Aufbau des Experiments ISOPHOT auf dem ESA Infrared Space Observatory (ISO) hatte ich die Gelegenheit die spannenden Momente bei Bau und Betrieb eines internationalen Satelliten direkt mitzuerleben. Ich profitiere hier von seinen Erzählungen und verweise gerne auf ein altes Heft aus der Reihe Sterne und Weltraum Special Nr. 1/2004 und seinen Artikel über ISO (S.52), der einen guten Eindruck über dieses Projekt gibt.

Auch danke ich sehr Olaf Fischer, dem Leiter des WiS!-Projekts, für seine hilfreichen Anregungen.

Weitere WIS-Materialien zur Astronomie und allen ihren Bezügen finden sie unter der Adresse [www.wissenschaft-schulen.de](http://www.wissenschaft-schulen.de) (Fachgebiet Astronomie). Wir würden uns freuen, wenn sie zum vorliegenden Beitrag Hinweise, Kritiken und Bewertungen an die Kontaktadresse des Autors senden könnten.

## Anhang – Die Details am Beispiel einer Elektronikkomponente

Am Anfang wird klar, dass für den Betrieb des Messgeräts eine wichtige Elektronikkomponente zu entwickeln ist. Woran muss man denken, wie gliedert sich die Entwicklung in die einzelnen Schritte? Das soll hier kurz skizziert werden:

- Die Anforderungen an die Elektronik werden ausgearbeitet. Welche Funktionen soll sie erfüllen?
- Eine Liste mit zugelassenen Bauteilen (Vorgaben der ESA, zumindest der Minimalanforderungen auf Weltraumtauglichkeit) liegt vor und muss beachtet werden.
- Ein Schaltplan muss entwickelt werden, der diese Bauteile und ihre Eigenschaften (Datenblätter) beachtet.
- Meist wird die Elektronik auf Leiterplatten aufgebaut. Die Platzierung der Bauteile, der Aufbau der Leiterplatte und die Vernetzung der Bauteile in und auf der Leiterplatte wird entwickelt (Layout der Leiterplatte). Schnittstellen nach außen sind ebenfalls definiert.
- Für den Bau der Leiterplatte werden geeignete Hersteller, die die Weltraumtauglichkeit gewährleisten können, ausgewählt und mit der Herstellung der ersten Muster beauftragt. Entsprechende Aufträge (Verträge mit Lieferdatum und Bezahlung werden abgeschlossen)
- Die Leiterplatte wird bestückt (auch hier wieder von einem Lohnbestücker mit entsprechenden Verträgen) und geliefert.
- Die fertige Elektronik wird ersten Tests unterzogen. Sind alle Teile so bestückt, wie gefordert, gibt es keinen Fehler in der Leiterplatte? Anschließend wird die Funktion erprobt. Arbeitet die Elektronik so, wie erwartet? Ist sie robust gegen Störeinflüsse (elektromagnetische Felder z.B.) und stört sie umgekehrt die Umgebung nicht? Werden alle sonstigen Bedingungen eingehalten?
- Oftmals stellt man einzelne Schwächen fest. Das bedeutet, dass die Schaltpläne entsprechend angepasst werden. Ein weiterer Musterstand wird erzeugt, produziert und getestet.
- Dies erfolgt bis der Entwickler und der Auftraggeber mit dem Produkt zufrieden sind.
- Die einzelnen Schritte und Ergebnisse werden dokumentiert.
- Von der endgültigen Elektronik wird eine Reihe von Exemplaren gefertigt, geprüft und an den Auftraggeber weitergeleitet.
- Die Elektronik wird in die jeweiligen Modelle der Messapparatur eingebaut.
- Mittlerweile ist auch das Programm (falls erforderlich) für die Prozessoren auf der Leiterplatte fertig, getestet und eingespielt
- Es wird alles in Betrieb genommen und in im Zusammenspiel mit den anderen Komponenten getestet.
- Nun ist die Elektronik Teil des Ganzen und wirkt mit beim Gelingen des Projekts.
- Im Betrieb ist die Elektronik oftmals einer hohen Belastung durch das Bombardement der solaren und kosmischen Teilchenstrahlung ausgesetzt.
- So ist ihr Ausfall manchmal der endgültige Grund für das Ende eines Geräts, aber nicht immer. Ein möglichst langes Leben wird durch eine sorgfältige Entwicklung und Erprobung erreicht.

Selbst in dieser Liste fehlen noch viele weitere Einzelheiten.