

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 81 (2023)
Heft: 2

Artikel: Die Sonde fliegt eigentlich mit einer "veralteten" Software
Autor: Baer, Thomas / Lüthi, Matthias / Althaus, Michael
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1049488>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 28.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

JUICE: Wie funktionieren Software-Upgrades?

Die Sonde fliegt eigentlich mit einer «veralteten» Software

Die Computer-Software entwickelt sich, wie wir wissen, unglaublich schnell. Wie begegnet und arbeitet man in einem Projekt wie JUICE mit diesen Upgrades? In der Tat «fliegt» eine Mission, der eine jahrelange Planungsphase vorangeht, im Prinzip mit einer bereits «veralteten» Software, wenn die Sonde auf die Reise geschickt wird. ORION hat bei Expertinnen und Experten nachgefragt.

Das Interview führte: **Thomas Baer**

orion *Die Vorlaufzeit, also die ganze Planung einer Mission, wie die von JUICE, startet meist ein Jahrzehnt oder länger vor dem Start. Man programmiert und fliegt dann ein solches Unterfangen mit der aktuell verfügbaren Software. Wie wir aber wissen, entwickelt sich die Software-Branche rasend schnell. Wie läuft dies bei Weltraum-Missionen mit evtl. Updates ab? Welche Probleme kann es unter Umständen geben?*

Matthias Lüthi, System Engineer Grundsätzlich sind Software-Updates auch nach dem Launch möglich. Zugelassen werden sie aber nur, falls der Bedarf klar belegt ist (z. B. Behebung eines kritischen Fehlers; deutliche Verbesserung der «Science-Performance»). Zusätzlich muss mit ausgiebigen Tests das korrekte Verhalten der neuen Software-Version nachgewiesen werden. Während das eigentliche Update meist nur wenige Minuten dauert, benötigt die ganze Vorbereitung viel Arbeitsaufwand. Probleme beim Updaten können v. a. durch Störungen in der Funk-Kommunikation entstehen, wenn z. B. ein Teil der neuen Software nicht korrekt an den Satelliten übermittelt wird. Um zu verhindern, dass solche Probleme zu einem Ausfall des Instruments führen, sind verschiedene Kon-

trollmechanismen implementiert: Zum einen werden die übermittelten Daten mit Checksummen geschützt und bei Bedarf mehrmals übermittelt, bis das gesamte Update-Datenpaket korrekt auf dem Satelliten empfangen wurde. Das eigentliche Update wird erst ausgeführt, wenn das Update-Datenpaket vollständig und korrekt empfangen wurde. Meistens verfügt ein Instrument noch über eine fixe «Notfall-» oder «Fallback-» Software, die minimale Funktionalität garantiert, damit ein Update wiederholt werden kann, falls etwas schief laufen sollte.

Soweit zum Mechanismus eines allfälligen Updates. Bezüglich der sich rasch verändernden Software-Branche gilt es aber festzuhalten, dass dies v. a. einen Einfluss auf die FPGA (Field Programmable Gate Array)-Softwareentwicklung und weniger auf die eigentliche Flugsoftware hat: Dabei spielt die sogenannte «Flight Heritage» eine grosse Rolle. Diese bewirkt nämlich, dass oft bereits bei der Entwicklung, der beim Launch aktiven Software veraltete Hardware und Werkzeuge zum Einsatz kommen, da sie bereits in anderen Missionen erfolgreich eingesetzt wurde. Demgegenüber stehen die verbesserten Fähigkeiten neuester Technologien, die zwar

die Entwicklung vereinfachen würden, sich aber noch nicht im Weltall beweisen konnten und somit als zu grosses Risiko eingeschätzt werden. Alte Hard- und Software bedeutet aber auch, dass die zugehörigen Entwicklungswerkzeuge alt sind und somit schon vor dem Launch teilweise nicht mehr mit den aktuellsten Betriebssystem-Versionen kompatibel sind. In solchen Fällen müssen dann parallel zur modernen Büroinfrastruktur entsprechende alte Plattformen unterhalten werden, um die Entwicklung garantieren zu können. Im Falle von NIM bedeutet dies z. B., dass auch noch in 10 Jahren die Möglichkeit bestehen muss, FPGA-Entwicklungstools, die unter Windows 7 (dessen technischer Support im Jahre 2020 ausgelaufen ist) laufen müssen, ausführen zu können.

Um obige Erläuterungen zur «Flight Heritage» zu illustrieren, ein konkretes Beispiel aus dem NIM-Projekt: Das zentrale Steuerelement von NIM ist ein programmierbarer Baustein, ein sog. FPGA. Als das Design der Steuerelektronik von NIM gegen Ende 2014 konkrete Formen annahm, kam gerade ein FPGA neuester Generation auf den Markt, der speziell für den Einsatz im Weltraum und unter hoher Strahlenbelastung entwickelt worden war.



«Als das Design der Steuerelektronik von NIM gegen Ende 2014 konkrete Formen annahm, kam gerade ein FPGA neuer Generation auf den Markt, der speziell für den Einsatz im Welt-raum und unter hoher Strahlenbelastung entwickelt worden war.»

Matthias Lüthi, System Engineer

Nach langen Diskussionen mit der ESA musste das NIM-Team schliesslich nach 2 Jahren klein begeben und auf ein alternatives Produkt zurückgreifen, das bereits im Jahre 2005 auf dem Markt erschienen war (und unterdessen, im Herbst 2022, abgekündigt wurde!). Dieser FPGA ist zwar «by Design» weniger strahlungstolerant, hatte sich aber bereits in verschiedenen Welt-raum-Missionen bewährt und somit «Flight Heritage» erworben, was dem neuen Produkt damals abging. Entsprechend dem Alter des FPGAs wurden auch Updates der zugehörigen Entwicklungssoftware bereits im Jahre 2013 eingestellt, was die oben beschriebene Notwendigkeit für ein Entwicklungssystem mit Windows 7 erklärt.

Michael Althaus, Software Engineer Die Data Processing Unit (DPU), auf welcher die Instrumentensoftware ausgeführt wird, ist beim NIM Instrument redundant vorhanden. Auch die Flugsoftware selbst ist mehrfach redundant abgespeichert und durch Checksummen geschützt. Damit wird sichergestellt, dass grundsätzlich immer eine lauffähige Konfiguration vorhanden ist und nur ein gültiges Image zur Ausführung gelangt. Im Notfall könnte man die Instrumentensoftware sogar direkt vom Spacecraft On-Board Computer laden.

Grundsätzlich enthält die Flugsoftware beim Start alle notwendigen Funktionen, um die Mission zu erfüllen. Das heisst, Updates nach dem Start werden nur gut begründet getätigt. Die Unterstützung der Flugsoftware über die gesamte Missionsdauer und der Erhalt der Werkzeuge zur Erzeugung wird durch Virtualisierung sichergestellt. Alle benötigten Komponenten sind in entsprechenden Software Paketen (sogenannten Containern) abgelegt.

orion Wie wird vor dem Launch eigentlich die gesamte Software getestet, damit auch alle Instrumente funktionieren? Geschieht dies an einem Prototypen oder an der «fliegenden» Sonde?

Lüthi Abschliessende Tests werden grundsätzlich am Spacecraft EM (Engineering Model) durchgeführt. Dieser Prototyp umfasst sowohl EMs aller beteiligten Ins-



«Im Notfall könnte man die Instrumentensoftware sogar direkt vom Spacecraft On-Board Computer laden.»

Michael Althaus, Software Engineer

trumente als auch relevante Teile des Satelliten. Physisch steht dieses Modell in Toulouse bei Airbus; betrieben wird es (meist remote) von ESA und Airbus Personal. Im Fall von NIM fängt das Software-testing aber schon viel früher an:

Ein sogenanntes SDM (Software Development Model) simuliert die wichtigsten Parameter der NIM-Hardware und ermöglicht so das Testen der NIM-Applikationssoftware ohne eigentlicher Sensor-Hardware. Das SDM besteht aus der Leiterplatte, die die Steuerelektronik enthält und dessen FPGA mit einer speziellen Version programmiert ist.

Zum Testen der Software im Zusammenspiel mit der NIM Sensor-Hardware, existiert das NIM-GRM (Ground Reference Model), welches weitgehend identisch zum Flugmodell ist. Bis vor kurzem diente es als Ersatzmodell (als «Flight Spare»), welches im Falle eines Defekts des Flug-

modells mit diesem ausgetauscht worden wäre. Das NIM-GRM wird während der ganzen Missionsdauer als Referenzmodell im Labor zur Verfügung stehen, um Abläufe zu testen, Kalibrationen durchzuführen und die vom Flugmodell gelieferten Spektren zu verifizieren.

Da NIM nicht direkt als Instrument auf dem JUICE-Satelliten montiert ist, sondern Teil der PEP-Lo Sensorsuite ist, gibt es auch noch ein PEP-Lo NU GRM (Particle Environment Package Low Nadir Unit), welches über eine zentrale Stromversorgung und Recheneinheit für die vier angeschlossenen Instrumente dient. Auf diesem Modell wird v. a. das Zusammenspiel der verschiedenen Sensor Application Softwares getestet, bevor die Gesamtsoftware für den Einsatz auf dem Spacecraft bzw.

dessen EM freigegeben wird. Im Gegensatz zum NIM-GRM ist das PEP-Lo NU GRM nicht voll funktionsfähig, sondern simuliert gewisse Parameter mit spezieller Hardware und/oder FPGA-Funktionalität.

Althaus Die Flugsoftware besteht auch aus Testfunktionen (sogenannte Unit-Tests), welche bereits beim Erstellen des Binärcodes (Kompilieren) die Funktionalität testet. Dazu kommt der sogenannte Full Functional Test (FFT), welcher auf den unterschiedlichen Instrumenten ausgeführt werden kann und die meisten relevanten Funktionen des Systems automatisch testet.

orion Bei einem internationalen Projekt müssen, wie aus dem Bericht hervorgehen, unzählige Mosaiksteinchen zusammengefügt und koordiniert werden. Wo laufen bei einem solchen Projekt wie JUICE alle Fäden



«Instrumententests haben während der Cruise-Phase Vorrang.»

André Galli, Project scientist

zusammen? Wer hat den gesamten Überblick und wie läuft es genau ab, wenn es zu allfälligen Verzögerungen kommt?

Lüthi Im Falle von JUICE laufen die Fäden bei der ESA zusammen. Für die wissenschaftlichen Instrumente ist aber auch Airbus als Hersteller des Satelliten ein sehr wichtiger Ansprechpartner. Bezüglich Verzögerungen ist der genaue Ablauf sehr von der aktuellen Phase des Projekts abhängig. Die Begleitung durch die ESA-Projektleitung ist aber in jedem Fall sehr eng, und gerade in den letzten Phasen vor dem Launch können bereits kleinste Verzögerungen den Termin gefährden. Im schlimmsten Fall muss daher damit gerechnet werden, dass ein in einem Instrument aufgetretenes Problem nicht mehr behoben werden kann.

orion Wenn man eine Mission wie JUICE plant, beschreitet man «Neuland». Die meisten Instrumente werden z. T. als Prototypen gebaut. Inwiefern fliessen Erfahrungswerte aus früheren Missionen in die Entwicklung neuer Instrumente mit ein und wie etwa testet man solche Geräte unter den hochenergetischen Bedingungen, die im Umfeld von Jupiter vorherrschen?

Lüthi Nicht nur im Bereich von Bauteilen oder Software ist «Flight Heritage» ein Thema; auch für ein gesamtes Instrument, bzw. Teile davon, versucht man möglichst auf Bewährtes aus anderen Missionen zurückzugreifen. Meist gelingt dies nicht 1:1, da jede Mission ihre eigenen Rahmenbedingungen mitbringt und eine bereits existierende Lösung z. B. zu schwer ist, zuviel Platz oder Strom braucht oder die Anforderungen an die Strahlungstoleranz nicht erfüllt. Die hochenergetischen

Bedingungen beim Jupiter hatten in der Tat grossen Einfluss auf das Design von NIM: Der Detektor muss sehr gut abgeschirmt sein, um Fehlmessungen zu verhindern. Ähnliches gilt auch für die Elektronikbauteile, wobei es dazu zwei Ansätze gibt: Einerseits werden Bauteile mit möglichst hoher Strahlungstoleranz verwendet und andererseits wird die Strahlung durch Abschirmung minimiert. Insbesondere zur Optimierung der Detektorabschirmung gab es für NIM mehrere Messkampagnen (am Paul Scherrer Institut und am Inselspital Bern), um die durch Simulation ermittelten Werte zu verifizieren.

orion Nach dem Launch wird JUICE von Darmstadt aus überwacht. Wie aus dem Text



«Zudem nutzen wir die Zeit mit dem NIM-GRM, alle möglichen Messungen noch vor Ankunft von JUICE im Jupitersystem im Labor zu simulieren.»

Audrey Vorburger, Lead scientist

hervorgeht, wird die Inbetriebnahme der Instrumente noch einen grösseren «Brocken» darstellen. Was genau ist hier die Herausforderung?

Lüthi In der Near Earth Commissioning Phase (NECP), welche kurz nach dem Start erfolgt, geht es darum, NIM nach dem Start zum ersten Mal in Betrieb zu nehmen und zu verifizieren, dass das Instrument den Start schadlos überstanden hat. Im Gegensatz zu den letzten Tests vor dem Start, welche weitgehend automatisch durchgeführt wurden, können während der Inbe-

triebsetzung gewisse Tests interaktiv (mit Einwegsignallaufzeiten bis zu ca. 90 Sekunden!) durchgeführt werden. Dadurch wird es möglich, nicht nur ein einfaches Pass/Fail-Resultat zu bekommen, sondern wichtige Parameter manuell zu überprüfen, bevor der nächste Schritt ausgelöst wird. Dabei geht es v. a. darum, das Risiko von Schäden zu minimieren, falls sich durch den Start das Systemverhalten in unbekannter Art verändert haben sollte. Leider wird sich NIM während der NECP nicht vollständig testen lassen, da durch das erwartete Ausgasen des Satelliten (und der darauf montierten Instrumente), das Risiko zu gross ist, die für den Betrieb von NIM nötigen Hochspannungen soweit hochzufahren, dass eine effektive Messung eines Massenspektrums möglich wäre. Nach aktueller Planung werden die ersten vollständigen Messungen von NIM demnach erst nach dem Venus-Vorbeiflug von JUICE erfolgen (d. h. 2026).

orion Bis 2031, wenn JUICE Jupiter erreichen wird, vergehen weitere acht Jahre. Was geschieht eigentlich in dieser

«Zwischenzeit» und was passiert genau, bevor JUICE im nächsten Jahrzehnt ihre Forschungsarbeit aufnehmen kann.

Lüthi NIM wird auch während der sog. Cruise Phase wiederholt in Betrieb genommen werden (ca. 2x pro Jahr). Dabei geht es darum, die «Gesundheit» des Instruments zu überprüfen und zugleich auch die «Signatur» des JUICE-Satelliten kennenzulernen, damit diese später in den bei Jupiter aufgenommenen Massenspektren herausgerechnet werden kann. Zudem gilt es auch die Unterschiede zwischen dem Verhalten

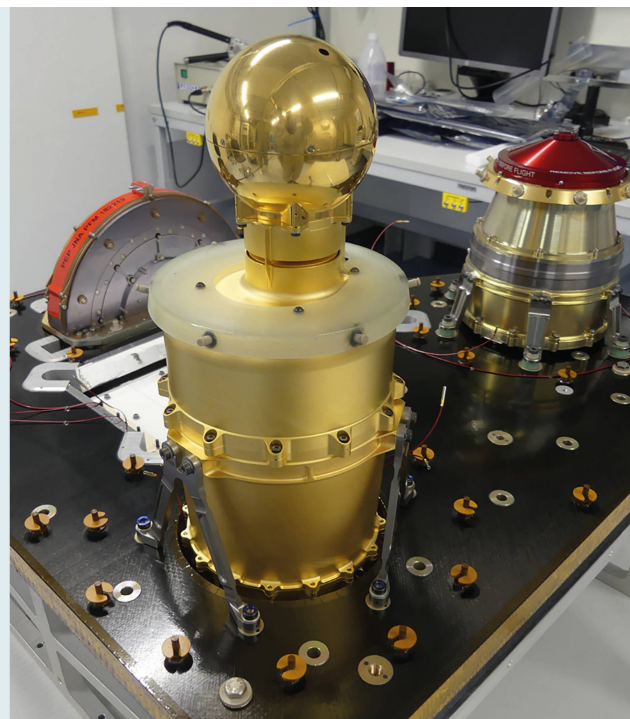
des Flugmodells und vom NIM-GRM im Detail herauszuarbeiten und bei Bedarf all-fällige Updates der Applikationssoftware zu machen.

André Galli, Project scientist Einige Instrumente werden auch die Gelegenheit für wissenschaftliche Messungen nutzen, um beispielsweise neutrale Teilchen vom Rand des Sonnensystems und vom Interstellaren Medium zu messen, doch haben Instrumententests während der Cruise Phase Vorrang vor wissenschaftlichen Messungen.

Audrey Vorburger, Lead scientist Zudem nutzen wir die Zeit mit dem NIM-GRM, alle möglichen Messungen noch vor Ankunft von JUICE im Jupitersystem im Labor zu simulieren. Die Geschwindigkeit, mit der JUICE an den Satelliten vorbeifliegt, bewegt sich zum Beispiel zwischen etwa einem und acht Kilometern pro Sekunde. Dieser Faktor 8 Unterschied wirkt sich auch auf das Messverhalten von NIM aus, was wir im Labor eingehend charakterisieren werden, damit wir dann die tatsächlichen Flugdaten auch korrekt interpretieren können. <

Abbildung 1: Das Massenspektrometer NIM, das als Teil von PEP an Bord der Raumsonde JUICE die Reise zu Jupiter antreten wird.

Bild: Universität Bern / Andreas Riedo



Gefragte Berner Expertise

Der Instrumentenbau für Weltraummissionen hat eine lange Tradition an der Universität Bern. So verfügt man in Bern beispielsweise über ausgewiesene Expertise auf dem Gebiet der Massenspektrometrie. Für die JUICE-Mission wurde das Neutral and Ion Mass Spectrometer (NIM) unter der Leitung von Prof. Peter Wurz, Direktor des Physikalischen Instituts der Universität Bern, in Bern entwickelt und gebaut. Es ist Teil des 'Particle Environment Package' (PEP), welches aus sechs unterschiedlichen Spektrometern besteht. Das Massenspektrometer NIM wird die chemische und isotopische Zusammensetzung und Verteilung der Teilchen in den Atmosphären von Jupiters Eismonden sowie die physikalischen Parameter dieser Atmosphären untersuchen. Wurz sagt: «Die Erkenntnisse, wie der Jupiter und seine Monde entstanden sind und wie sie sich entwickelt haben, sind ein wichtiger Beitrag zum Verständnis der Entstehung des Sonnensystems im Allgemeinen.»

Prof. Claude Nicollier, Schweizer Astronaut (am Freitag)
Dr. Audrey Vorburger, Universität Bern (am Freitag)
Lukas Schuler, DarkSky Switzerland (alle 3 Tage)

Ausgestellte Modelle
James Webb Space Telescope (1:4)
Juice Raumsonden-Modell (1:10)
Hubble Space Telescope Modell (1:10)
Ferngesteuertes Mars-Rover-Modell der Uni Bern
Mercury-Raumkapsel Mockup 1:1
...

medien orion

FANTASY BASEL
THE SWISS COMIC CON

18. – 20. Mai 2023
täglich 10 – 19 Uhr
Messe Basel

Besuchen Sie uns an der FANTASY BASEL 2023!

Space-Bereich diesmal auf einer Fläche von über 1'000 m² sowie die Space Stage für die Talks!



Bild: Swiss Space Museum