

3. Jan 09.36.10

RES211_BepiColombo_und_JUICE

Willkommen zum Forschungspodcast der Helmholtz-Gemeinschaft. Ich bin Holger Klein.

Resonator Am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Berlin im Institute of Planetary Research arbeitet Hauke Hussmann als kommissarischer Leiter der Abteilung Planetengeodäsie.

Außerdem ist er Principal Investigator des Ganymed Laser Altimeters GALA auf der ESA-Mission JUICE. Über die wollen wir heute auch reden. Und Co-Principal Investigator des BepiColombo Laser Altimeters BELA der BepiColombo-Mission. Und darüber wollen wir auch reden heute. Hallo, Hauke. Hallo, ja, ich freue mich. Geodäsie, das kenne ich. Das ist halt mit diesen bunten Peilstäben am Straßenrand. Wie macht man das auf Planetenskala? Also es ist erstmal genau richtig.

Geodäsie ist genau das, was man am Straßenrand sieht. Geodäsie heißt erstmal einfach Vermessung.

Landvermessung, ja. Vermessung natürlich der Erde. Also das ist das, wenn man die Geodäten da sieht mit ihren Messstäben an der Straße oder wo auch immer. Wie heißt nochmal dieses Gerät, wo die durchgucken? Das hat doch auch so einen Namen. Wie ist das? Theodolit. Theodolit, genau.

Ja, das kennt man. Das kann man natürlich nur machen, wenn man sich auf der Oberfläche befindet.

In dem Fall auf der Erde. Also wenn wir jetzt planetar denken auf der Erdoberfläche, da kann ich mit solchen Geräten das Gelände vermessen. Aber es

gibt natürlich auch andere Techniken, das Gelände zu vermessen vom Orbit aus. Also das wenden wir bei der Erde natürlich auch an, mit Hilfe von Satelliten, mit Hilfe von Kameras, die auf Satelliten montiert sind, die die Erde beobachten. Und man kann daraus mit Analyse der Daten dann Geländemodelle der Erde erstellen. Und diese Techniken, eine andere Technik wäre die Laser-Altmetrie, also Höhenmessung, die Topografie des Planeten, also den Höhenverlauf des Geländes zu vermessen. Diese Techniken werden für die Erde angewandt und genau das setzen wir um für Planeten. Also wir haben Orbiter um Planeten oder Monde von Planeten und werden diese Techniken dort an, also insbesondere mit Kameras oder mit Laser-Altmetrie oder mit Radarmessung vermessen wir die Oberflächen.

Müsst ihr diese Orbiter unbedingt haben oder würde das theoretisch auch mit einem magischen Teleskop von der Erde aus funktionieren? Da sind wir schon auf Orbiter angewiesen.

Also man muss tatsächlich Satelliten dorthin schicken. Die Planeten sind dann doch für erdgebundene Beobachtungen dann zu weit weg. Also das spielt sich üblicherweise in einigen tausend Kilometern Höhe ab, in der diese Satelliten dann um den Planeten kreisen.

Und um die gesamte Abdeckung zu schaffen und die genaue Auflösung, die wir brauchen, zur wissenschaftlichen Analyse, muss man tatsächlich Orbiter, also Raumsonden vor Ort haben, planetare Sonden. Die Auflösung, wie gut löst ihr auf?

Also das hängt davon ab, hängt von der Mission ab, auch von den wissenschaftlichen Zielen.

Aber typischerweise für Kameras sind das bis zu Meter pro Pixel, also pro Bildpunkt.

Und das kann aber auch bei Asteroiden zum Beispiel, was sehr viel kleinere Objekte sind, da geht es dann teilweise auch in den Zentimeterbereich, also dass man wirklich nah dran ist.

Ich wollte gerade sagen, da seid ihr dann aber schon sehr nah dran.

Ja, da ist man näher dran, aber man hat es dann auch mit kleineren Objekten zu tun.

Die sind teilweise nur wenige 100 Meter groß oder noch weniger sogar.

Und dann ist natürlich die Auflösung entsprechend höher, weil man nah dran ist.

Aber typischerweise für Planeten ist das so ein Zehnermeter-Bereich.

Für globale Abdeckungen natürlich dann auch eine Frage des Datenvolumens, ist man dann bei mehreren Zehnermetern Auflösung, also 50 Meter, 70 Meter.

Und ihr fliegt einfach nur wegen des Datenvolumens nicht näher ran?

Nö, weil ihr könnt ja eigentlich auch näher ran.

Ja, natürlich. Wir wollen gerne näher ran, meistens.

Aber es gibt viele Sachen oder viele Faktoren, die den Verlauf einer solchen Mission bestimmen.

Das ist einmal, man braucht stabile Orbits.

Also man kann nicht immer in beliebigen Orbit bleiben oder sein, weil es Störungen gibt, die den Orbit verändern.

Wie?

Also beispielsweise ein gutes Beispiel ist der Saturnmond Enceladus.

Enceladus ist ein Eismond, 500 Kilometer Durchmesser, also ziemlich klein, deutlich kleiner als der Erdmond.

Und er umkreist den Saturn, ist einer der Saturnmonde.

Wissenschaftlich hochinteressant, aber jetzt aus bandynamischer Sicht kompliziert, weil er relativ nah am Saturn dran ist.

Und wenn ich jetzt einen Satelliten um Enceladus in den Orbit schicke, dann sind die Störungen vom Saturn, Saturn ist der zweitgrößte Planet im Sonnensystem, die sind extrem groß.

Der zieht die ganze Zeit an der Bahn.

Die Bahn wird sehr schnell, also innerhalb von Tagen eigentlich, wenn man den so fliegen lässt, wird die Bahn elliptisch werden.

Und das heißt...

Du brauchst viel Treibstoff, um den immer wieder zurück zu bringen.

Genau, entweder viel Treibstoff oder er wird halt auf dem Enceladus aufschlagen nach kurzer Zeit.

Und deswegen braucht man, sucht man sehr spezielle Orbits zum Teil, die dann längere Zeit stabil sind.

Es gibt die Möglichkeit zu sagen, wir machen eine Umlaufbahn um den Mond drumherum, wo er minimalst vom eigentlichen Planeten beeinflusst wird.

Ja, genau.

Das kann man, oder man kann dann teilweise die Störung ausnutzen, die der Planet ausübt, um die Bahn wird sich dann langsam verändern, die wird driften und das ist dann manchmal günstig.

Also da kann man...

Das ist dann so ein Enhanced Swing-By-Manöver, oder?

Ja, man benutzt halt die Gravitation des Planeten oder nutzt das dann aus in gewisser Weise.

Also ein anderes Beispiel ist Beppi Colombo, zu der Mission wollten wir ja auch noch kommen, zu Merkur.

Da ist es so, dass die Bahn ist so angelegt, es ist eine elliptische Bahn und wir haben natürlich die besten Beobachtungsmöglichkeiten, wenn wir nah dran sind, also wenn der am Bahnen nächsten Punkt ist.

Und dabei wird jetzt die Störung der Sonne in dem Fall, die gravitative Störung der Sonne ausgenutzt, dass dieser Punkt über der Planetenoberfläche, der am nächsten dran ist, dass der langsam südlich driftet.

Also dass wir sozusagen dann diese Bedingungen erst im Norden haben, später im Verlauf der Mission, die dauert ein Jahr, möglicherweise zwei Jahre, dann in der südlichen Hemisphäre beste Bedingungen für die Beobachtung haben.

Und das ist nur aufgrund der gravitativen Störung der Sonne in dem Fall.

Also da gibt es geschickte Leute, die das berechnen und ausnutzen können.

Also da hilft dann tatsächlich die Gravitation der anderen Planeten, um die Bahn auch zu verändern im Laufe der Mission.

Aber einerseits sind es Störungen, die man vermeiden will, andererseits kann man aber positive Effekte nutzen.

Ist das, aus meiner Perspektive, ist das alles, was ihr macht, aufwendig zu rechnen, aber diese Berechnungen, wie ich die Gravitation ausnutzen kann, ist das kompliziert zu berechnen?

Ich stelle mir das gerade extrem schwierig vor, da irgendwie in diesen Gravitationsfeldern ein kleines Objekt drin rumrollen zu lassen.

Und er lacht und tippt auf eins, zwei, drei, vier, fünf Bände.

Theoretische Physik.

Theoretische Physik, genau.

Fällt das selbst euch schwer?

Ist das selbst für euch aufwendig oder ist das letztendlich so eine ...

Mittlerweile, ich will jetzt nicht sagen, es ist eine Standardaufgabe, aber das hat man relativ gut im Griff.

Also die Änderungen der planetaren Bahn, die sind in dem Falle "leicht" zu berechnen, weil es eigentlich nur die Gravitation gibt.

Natürlich gibt es noch viele Details, die da eine Rolle spielen.

Aber erst mal hat man es im Weltraum allgemein hauptsächlich mit Gravitation zu tun.

Man weiß, wo die gravitativen Quellen sind.

Man weiß genau, wo die Planeten zu welchem Zeitpunkt sind.

Und man kann diese Störungen dann eigentlich ziemlich genau berechnen.

Also diesen Einfluss, den kann man gut berechnen.

Was jetzt den Rechenaufwand groß macht, ist die Optimierung.

Also wirklich jetzt Orbits zu finden, wo man weiß, okay, diese gravitative Störung, die nutzt mir jetzt wirklich für meine Mission, dass beispielsweise dieses Perizentrum, also dieser Bahnnächste Punkt, dass der jetzt driftet auf der Oberfläche.

Da gehört einerseits Erfahrung dazu von den Leuten, die das machen, andererseits auch viel Optimierung, die günstigste Bahn eben rauszufinden.

Und das braucht man auch, wenn man jetzt planetare Missionen plant.

Also wenn wir jetzt mit Juice beispielsweise, Juice hat Jupiter zum Ziel oder die Jupiter-Monde.

Aber man fliegt nicht einfach direkt zum Jupiter.

Man nutzt die anderen Planeten aus, um "Treibstoff zu sparen".

Ich muss gerade so lachen, weil das ist natürlich so was, was so Laien, also auch ich, sich immer wieder vergegenwärtigen müssen.

Nein, Holger, es startet nicht eine Rakete und fliegt dann gerade aus zum Mars.

Das ist halt, wenn man da sitzt, warum dauert das so lange?

Das ist doch gar nicht so weit.

Ja, genau. Und Juice beispielsweise muss tatsächlich erst ins innere Sonnensystem.

Also wir haben einen Erdvorbeiflug schon gehabt.

Wir werden einen Venusvorbeiflug haben.

Echt nur zum Schwung holen fliegt der nach innen?

Ja.

Kann das schiefgehen?

Schiefgehen kann immer alles.

Ja, klar. Aber ist das irgendwie gefährlicher, auf die Sonne zuzufiegen?

Ist das gefährlicher, als von der Sonne wegzufliegen?

Also es ist anspruchsvoller, weil das aufgrund der Temperaturen, also das thermale Regime, was wir dort an der Venus vorfinden, ist deutlich anspruchsvoller als jetzt hier bei der Entfernung der Erde und natürlich dann auch beim Jupiter.

Beim Jupiter haben wir es eher mit einer kalten Umgebung zu tun und bei der Venus mit einer sehr heißen Umgebung.

Und sowohl die Raumsonde als auch alle Instrumente müssen das aushalten.

Es gibt dann spezielle Strategien, die da angewandt werden.

Zum Beispiel wird bei dem Venusvorbeiflug, also gerade im Moment sind wir in der Phase, wo wir uns der Venus nähern.

Also der Vorbeiflug ist nächstes Jahr im August.

Und so lange wir... – 2025.

– Ja, 2025.

Und so lange wir in dieser... oder dann bei dem Venusvorbeiflug, da wird die Hauptantenne der Raumsonde, die eigentlich zur Kommunikation mit der Erde da ist, wird als Hitzeschild benutzt.

Also dass man tatsächlich abschirmt vor der Sonnenstrahlung und die Raumsonde das eben aushalten kann.

Man muss dann auf die kleineren Antennen zur Kommunikation ausweichen, weil

in dem Moment ist wirklich die große Antenne, die ist so mehrere Meter Durchmesser, dient einfach als Hitzeschild, um abzuschirmen von der thermischen Strahlung.

– Da muss man ja auch erst mal drauf kommen, auf so eine Idee, zu sagen, wir nehmen mal für die große Antenne zur Abschirmung.

Wie, falls ich das überhaupt nachvollziehen kann, wie ist der Prozess, der da hinführt, dass irgendjemand irgendwann sagt, Leute, ich habe eine Idee.

– Also es ist auf jeden Fall, man muss sich klarmachen, das sind riesige Teams, große Teams, die solche Missionen planen, die schon alleine von der Idee bis zur Realisierung von so einer Mission sind viele Leute involviert und viele mit ihrer jeweiligen Expertise.

Das ist ganz wichtig. Expertise und Erfahrung, langjährige Erfahrung von vorherigen Missionen.

Also das ist ein sehr gemischtes Team.

Natürlich aus Wissenschaftlern, die neu in dem Team sind, die neue Dinge herausfinden wollen, mit neuen planetaren Zielen in dem Fall.

Aber man braucht auch sehr erfahrene Teammitglieder, die einfach genau wissen, wie die technisch sehr versiert sind.

Industrie, die Erfahrung hat im Bau von weltraumtauglichen Geräten.

– Das heißt, so eine Idee mit der großen Antenne zur Abschirmung, das ist nur für so jemanden wie mich eine spektakuläre Idee?

– Das ist schon angewandt worden, ja.

– Okay, also eher dann trivial.

– Ja, aber trotzdem ist es – ja, trivial würde ich jetzt nicht sagen.

Aber es ist schon richtig, was du sagst, weil viele Missionen erfordern dann solche Ideen, solche neuen Ideen.

Also klar, das muss man dann sich überlegen.

Und man muss sehr innovative Ideen haben in dem Geschäft.

Also das auf jeden Fall.

Weil die Herausforderungen, das macht man sich vielleicht auch nicht so klar, die sind für jede Mission sehr speziell.

– Das ist immer ein Prototyp, den ihr baut, ne?

– Es ist immer ein Prototyp. Es ist noch nie gebaut worden.

Und man hat es mit sehr verschiedenen Umgebungen zu tun.

Also bei Merkur, der ist der sonnennächste Planet, da ist die thermische Umgebung wirklich das Herausfordernde.

Also wir haben einerseits, ja, kann man vielleicht auch ein bisschen ins Detail gehen.

Also wenn jetzt BepiColombo, die Mission der ESA zu Merkur, die ist zurzeit

unterwegs, wird den Merkur Ende 26 erreichen und in Orbit um den Merkur einschwenken.

Und dann ist die Raumsonde dann starker Sonneneinstrahlung ausgesetzt.

Das ist erstmal kein, also es ist natürlich schon ein Problem, aber kein so großes, weil man die Strahlung auch auf der Schattenseite wieder los wird schnell.

Also da hat man tatsächlich so, wie beim Verstärker von der Anlage zu Hause, so Kühlrippen und das strahlt dann ab.

Und da der Weltraum sehr kalt ist, hat man zwar die Sonneneinstrahlung auf der anderen Seite, aber man wird die Strahlung auch schnell wieder los.

- Das ist aber umso schwieriger die Aufgabe für die Materialwissenschaft.

- Ja, das auch. - Was zu bauen, das nicht sofort...

- Sich ausdehnen, verzerrt. - Genau.

- Das ist das eine, aber es kommt jetzt noch ein anderes Problem leider dazu.

Wenn die Raumsonde sich jetzt während des Umlaufs um Merkur zwischen der Sonne und dem Merkur befindet, dann kommt die thermische Strahlung des Merkur von der anderen Seite.

Und der Merkur hat eine Oberfläche von 400 Grad Celsius.

Das heißt, da strahlt 400 Grad heißer Planet von der anderen Seite ab.

Und dann wird es schwierig die Wärme loszuwerden.

- Kommt diese 400 Grad denn da oben auch an oder wird das dann weniger?
- Es wird weniger mit dem Abstand, also die 400 Grad sind an der Oberfläche, aber da kommt dann weniger an. Aber es gibt keine Atmosphäre, also der Merkur hat keine Atmosphäre, das heißt, es strahlt wirklich in den Weltraum ab.

Und das ist dann eine richtig thermische Quelle, die dann sozusagen wird die Raumsonde dann von beiden Seiten geheizt.

Einerseits von der Sonne, andererseits von der Merkur-Oberfläche.

Und dann braucht man wieder gute Ideen, wie man die Hitze dann loswird.

Also das sind so spezielle Sachen bei jeder Mission.

Bei JUICE ist es nicht die thermische Umgebung, da ist es die Strahlungsumgebung beispielsweise.

Das Jupiter-System ist, sage ich mal, oder es ist der schlimmste Ort, was radioaktive Strahlung im Sonnensystem angeht.

Also es ist eine Herausforderung für die Mission.

- Bleiben wir mal bei BEPI, BEPI-COLOMBO. Warum BEPI-COLOMBO?

Also JUICE kenne ich irgendwie, Jupiter, Universe, und es ist halt wieder so ein Akronym.

Aber BEPI-COLOMBO ist kein Akronym, oder? Oder ein sehr ausgefallener?

- Nee, ist kein Akronym. - Schade eigentlich.
- Man kann sicherlich eins finden, also bin ich für Vorschläge dankbar.
- Schreibt es in die Kommentare, genau.
- BEPI-COLOMBO ist eine europäische Mission.

Und zu MERCUR zu fliegen ist auch wieder eine Herausforderung.

Also es hängt wieder damit zusammen, dass MERCUR sehr nah an der Sonne ist.

MERCUR ist ein sehr kleiner Planet, deutlich kleiner als...

- Ich will wissen, warum die so heißt. - Ja, ja, da komm ich gleich hin.
- Oh, oh, ah, oh.
- Ich muss mich ein bisschen weiter ausholen.

Und man muss sich vorstellen, der MERCUR, also ein sehr kleiner Planet, ist nah an der Sonne in dem riesigen Gravitationsfeld der Sonne.

Und ich kann zwar schnell zum MERCUR hinfliegen, das ist kein Problem, aber dann in Orbit um MERCUR zu gehen, das ist ein Problem, weil ich dann sehr schnell am MERCUR vorbeifliegen würde und in Sonnenorbit gehen.

Aber dann sozusagen in diesem Potential des Gravitationsfeldes die kleine Potential-Delle, würde man sagen, zu treffen, in Orbit zu gehen, das ist sehr kompliziert.

- Diese Delle, woraus besteht die?

Besteht die aus einer Differenz zwischen Gravitation der Sonne und Gravitation von MERCUR so ungefähr?

- Ja, so kann man sich vorstellen, wo sozusagen die Gravitation des MERCUR stärker ist als die der Sonne.

Das ist erstmal eine Voraussetzung, aber das alleine reicht nicht, weil ich muss auch langsam genug reinkommen, dass ich da im Orbit gefunden werde.

- Ich muss scharf abbremsen, ich muss in die Lücke hineinbremsen.

- Das macht man auch mit Vorbeiflügen.

Man nutzt wieder die Gravitation von Erde und Venus und dem MERCUR selbst aus.

- Nur zum Bremsen?

- Ja, zum Bremsen. Man muss erst beschleunigen und dann bremsen.

Bremsen ist im Weltraum, wo wir keine Luftreibung, nichts haben, genauso aufwendig wie das Beschleunigen.

Es kostet genauso viel Energie abzubremsen wie zu beschleunigen.

Jetzt komme ich langsam zu dem Namen.

Man muss eine sehr geschickte Bahn finden, die das ermöglicht mit möglichst wenig Treibstoff den MERCUR zu erreichen.

Das wurde in den 60er Jahren entwickelt.

Das wurde entwickelt von Giuseppe Colombo, einem italienischen Wissenschaftler, der bei der NASA diese Bahn gefunden hat, also diesen Weg, dass man MERCUR tatsächlich erreichen kann mit so einer Trajektorie.

Sein Spitzname war Beppi von Giuseppe.

Deswegen heißt die Mission Beppi Colombo.

- Ich finde das auffällig selten, dass Missionen solche Namen tragen.

Ist das eine derart bedeutende Entdeckung gewesen, die der gemacht hat?

- Es ist zumindest bedeutend gewesen für die MERCUR-Forschung.

Es war vorher nicht möglich.

In den 60er Jahren hat man angefangen, Planeten zu erkunden.

Da musste man wirklich eine gute Idee haben, um den MERCUR zu erreichen.

Diese Bahn wurde dann auch so benutzt.

Beppi Colombo benutzt diese Bahn.

Messenger war eine NASA-Mission vor einigen Jahren.

Die hat dieselbe Trajektorie benutzt.

Es ist kompliziert.

Diese Trajektorie beinhaltet einen Erdvorbeiflug, zweimal Venus und sechsmal MERCUR.

Wir sind jetzt mit Beppi Colombo in dieser Phase, wo wir diese MERCUR-Vorbeiflüge haben.

Wir haben vier hinter uns. Der nächste kommt im Dezember.

Der erste dann Anfang Januar nächstes Jahr.

Das ist zum Abbremsen, bevor wir in MERCUR-Orbit einschränken können.

- Das war dann im August '25? - Nee, das ist später, Ende '26.

- Ende '26. Was war denn jetzt August '25? Ich komme völlig durcheinander.

- Jetzt komme ich auch fast durcheinander.

August '25 war der Venus-Vorbeiflug von Zeus.

- Okay. - Da darf ich auch nicht durcheinanderkommen.

- Wir fliegen ja wahrscheinlich nicht nur zum MERCUR, damit du da deine Laser-Altimetrie machen kannst.

Was wollen wir wissen?

- Die MERCUR-Mission Beppi Colombo ist erst mal eine sehr große Mission.

Damals hieß es Cornerstone-Mission der ESA.

Sie besteht aus insgesamt zwei Orbitern.

Das ist auch was Besonderes bei dieser Mission.

Im Moment sind wir in einer Konfiguration, wo diese zwei Orbiter noch mit einem Transfermodul, was noch mal größer ist, zu MERCUR gebracht werden.

- Sind die da drin oder hängen die aneinander?
- Man nennt das Stack-Configuration. Die sind so aufeinandergesteckt.

Das Transfermodul muss man sich so vorstellen, das hat große Solarpanel und ist das Hauptmodul im Moment.

Und da dran sitzen die beiden Orbiter, die dann aber erst kurz vor Einschwenken in den Orbit in freien Raum in die richtige Position mit der richtigen Lage und richtigen Geschwindigkeit dann ausgesetzt werden.

- Und das Transfermodul, was macht das?
- Das bleibt im Sonnenorbit. Das wird danach nicht mehr benutzt.
- Das bleibt zum Sankt-Nimmerleins-Tag?
- Das wird ewig um die Sonne kreisen.
- Das stürzt auch nicht rein? - Nee, das stürzt nicht rein.

- Aber da sind dann hoffentlich noch ein paar Experimente an Bord, um Sonnenbeobachtung zu machen?

- Nee, das Transfermodul ist dann...

- Wie ineffizient ist das denn?

Ihr habt einen Sonnenorbiter und habt da keine Experimente drauf?

- Die Effizienz ist hier, dass wir den MERCUR erforschen wollen.

- Ja, aber das ist doch ein schöner Beifang, oder nicht?

- Ja, dann hätte man aber Instrumente, die wieder Masse beinhalten.

Man hätte dann weniger MERCUR-Instrumente.

Das ist auch eine wichtige Lektion. Man kriegt da nichts for free.

- Das sind die Konflikte des Universums.

- Genau, und die zwei Orbiter haben insgesamt 15 Instrumente an Bord.

Das ist eine richtig große Zahl an Instrumenten für eine Mission.

Und die Orbiter sind auch auf zwei verschiedenen Orbits.

Der eine nennt sich der Mio.

Das wird von der japanischen Weltraumorganisation betrieben und beigestellt zur

ESA-Mission BepiColombo.

Der ist auf einem sehr elliptischen Orbit und soll vor allem das Magnetfeld MERCURs und die Interaktion des Magnetfelds mit dem Sonnenwind erforschen und braucht deshalb einen langgestreckten elliptischen Orbit.

Dann gibt es den Mercury Planetary Orbiter.

Der ist näher dran und auf einem nahezu kreisförmigen Orbit.

Das sind die Instrumente drauf, wie zum Beispiel unser Laseraltimeter oder auch die Kameraspektrometer, die den MERCUR selbst erforschen.

Die Oberfläche, das Innere und natürlich auch das Magnetfeld.

Da sind wir schon bei den Sachen, warum MERCUR wissenschaftlich interessant ist.

MERCUR ist erstmal der innerste Planet.

Er ist in einer Region innen im Sonnensystem entstanden.

Das macht ihn zu einem sehr speziellen Planeten.

Er ist in einer heißen Umgebung entstanden.

Er ist dadurch sehr eisenreich, weil die schweren Elemente wie Eisen zuerst kondensieren bei hohen Temperaturen.

Er hat einen riesigen Eisenkern.

Im Vergleich zur Erde oder sagen wir mal so, MERCUR besteht zu 80% aus Eisenkern.

Damit fällt schon mal deutlich raus, was die anderen, was jetzt Vergleiche mit Venus, Erde, die dann ein bisschen weiter draußen entstanden sind, angeht.

Man hat bei den bisherigen Missionen, also die erste MERCUR-Mission war in den 70er Jahren mit Vorbeiflügen nur, also kein Orbiter.

Aber da hat man festgestellt, dass der MERCUR tatsächlich ein Magnetfeld besitzt.

Das ist eigentlich nicht selbstverständlich.

War auch ein bisschen unerwartet.

Nicht? Hätte ich nicht gedacht, weil so ein riesiger Klotz Eisen... Das wusste man ja damals auch noch nicht.

Klar, hat man natürlich vermutet, aber das hat man dann natürlich schnell erkannt.

Aber ein Magnetfeld braucht mehr als nur einen Eisenkern.

Man braucht einen flüssigen Kern.

Stimmt, ich brauch so ein Dynamo-Ding.

Man braucht ein Dynamo, das muss angetrieben werden.

Man braucht Konvektionsströmung in diesem Eisenkern.

Die freien Elektronen müssen sich frei bewegen und dann einen Strom erzeugen, der dann auf dem Magnetfeld... Hat MERCUR das oder hat MERCUR was noch Coolerer?

Ja, MERCUR hat das.

MERCUR ist einer der wenigen... Wenn wir jetzt die Riesenplaneten mal rauslassen, da werden Magnetfelder anders erzeugt.

Aber von den terrestrischen Planeten und von den Monen haben nur die Erde, MERCUR, und der Jupiter-Mond Ganymed ein Magnetfeld, was auf ähnliche Weise erzeugt wird, also in einem Eisenkern.

Wir wissen, dass auch der Mars in seiner Frühphase ein Magnetfeld hatte, aber nur in der Frühphase.

Das kam zum Erliegen der Dynamo.

Woher weiß man so?

Das weiß man aus der Magnetisierung der Oberflächen.

Das remanente Magnetisierung.

Daran kann man feststellen, der Mars hatte mal ein Magnetfeld.

Das ist aber heutzutage nicht mehr vorhanden.

Bei MERCUR wissen wir, er hat einen Dynamo, er hat einen flüssigen äußeren Kern.

Vielleicht ist der Kern auch insgesamt flüssig, das wissen wir nicht.

Werdet ihr das nach der Mission wissen?

Das werden wir rausfinden.

Das ist natürlich nur indirekt, man kann da nicht reinschauen.

Aber man kann Messungen des Gravitationsfeldes und auch Messungen der, da kommt das Laser-Altimeter auch ins Spiel, Messungen der Gezeitendeformation.

Die gibt einem Aufschluss über das Innere des MERCUR.

Und da können wir dann auch...

Gezeitendeformation heißt, wie sehr das Ding durchgeknetet wird von Gravitation?

Von Gravitation der Sonne, von Gravitationsfeldänderungen während des elliptischen Umlaufs um die Sonne.

Der müsste ja eigentlich ordentlich geknetet werden, oder?

Ja, beim MERCUR ist es jetzt nicht so extrem.

Also man muss unterscheiden zwischen...

Bei Gezeiten denken wir natürlich erstmal an die Meere, Meeresgezeiten.

Wir haben aber auf dem MERCUR keine Meere.

Wir haben keine Oberfläche, die sich frei bewegen kann, sondern es ist eine Gesteinsoberfläche.

Und wenn wir über Gezeiten beim MERCUR reden, dann meinen wir Bewegungen dieses Festkörpers.

Des gesamten...

Genau.

Und das ist...

Ja, sind es nicht mehr als ein Meter letztendlich ungefähr?

Wir wissen es nicht genau.

Gemessen werden konnte es noch nicht.

Also das müssen wir durch Modellrechnung eben vorhersagen und dann die Instrumente dementsprechend bauen, dass sie das messen können.

Aber wir werden es auf jeden Fall...

Im Gravitationsfeld kann man diese Änderungen messen und vielleicht auch aufgrund der Oberflächendeformation.

Und das gibt einem dann Aufschluss darüber, ob es im Inneren einen flüssigen Kern gibt oder wie tief dieser Kern liegt.

Das wird kombiniert mit Modellrechnung.

Und das gibt einem dann wiederum Aufschluss über die Entwicklung des MERCUR insgesamt.

Also wie er sich entwickelt hat, wie er entstanden ist.

Und dann komme ich zurück zur Ursprungsfrage, wie passt das zum Verständnis der Entstehung unseres Sonnensystems insgesamt?

Und da ist MERCUR eben als innerster Planet wichtig, weil er in dieser heißen Umgebung entstanden ist und anderes Material akkretiert hat als die Erde beispielsweise.

Ist er denn ungewöhnlich?

Also so ungewöhnlich, dass an dieser Stelle ein solcher Planet zu finden ist?

Ja, das ist...

Da müssen wir...

Unser Sonnensystem können wir ja mittlerweile vergleichen mit anderen Planetensystemen, dadurch, dass Tausende von extrasolaren Planeten mittlerweile gefunden wurden.

Wir können aber so einen kleinen Planeten wie MERCUR eben schwer für extrasolare Planetensysteme zu entdecken.

Deswegen ist da der Vergleich schwierig.

Wir kennen natürlich viele Planeten, die nah am Zentralstern sind, aber die

meisten sind massereicher.

Das ist aber so ein Beobachtungseffekt, weil so ein kleiner Planet halt wenig Gravitation aufschiebt.

Da wackelt die Sonne wenig.

Ja, genau.

Also das...

So gesehen ist es erstmal nicht ungewöhnlich.

Also es passt auch zu den Entstehungstheorien des Sonnensystems, die wir bisher natürlich aufgrund des Sonnensystems auch so entwickelt haben.

Wenn man jetzt extrasolare Planetensysteme anguckt, stellt man fest, die sehen ganz anders aus.

Und das ist auch eine Sache, die man jetzt wirklich intensiv studiert, wie planetare Systeme sich bilden und wie die Planeten da drin entstehen.

Also da ist man jetzt in der Lage, das auch wirklich zu vergleichen mit anderen planetaren Systemen.

Das war vor einigen Jahrzehnten.

Wann wurde der extra erst...

Mitte der 90er wurde der erst.

Seitdem erweitert ihr auch eure Theorien oder ist es im Wesentlichen stimmig?

Ja, nee, es ist...

Man hatte zum Beispiel nicht damit gerechnet, dass so viele Riesenplaneten so nah an ihrem Zentralstern sind.

Wir haben...

Die bisherigen Theorien haben natürlich erklärt, warum wir im Inneren die terrestrischen, also die Gesteinsplaneten vorfinden, Merkur, Venus, Erde und Mars.

Und weiter draußen die Gasplaneten, die großen Gasriesen, Jupiter, Saturn.

Diese Theorien hat man natürlich dann...

Die passten zur Entstehung des Sonnensystems natürlich.

Aber man sieht jetzt sehr unterschiedliche Systeme, wo also Riesenplaneten sehr nah Zentralsternkreisen, teilweise näher als Merkur.

Und das passte in die bisherigen Theorien natürlich nicht rein.

Da muss man viel revidieren auf jeden Fall.

Wie lange dauert die BepiColombo-Mission?

Also der Start war 2018, Oktober 2018.

Wie lange war der Vorlauf?

Also wann ist die...

Oh, ja, die Zeitskalen sind enorm, astronomisch fast.

Also ich denke Ende der 90er Jahre, Anfang der 2000er wurde...

Also 20, 25 Jahre reine Planungs- und Bauphase.

Ja, ja, ungefähr.

Also ja, Anfang der 2000er...

Also das ist so eigentlich für große planetare Missionen fast ein typischer Zeitraum.

Also bei JUICE war es so, die ersten Ideen gehen ja auf 2007, 2006 zurück.

Dann wurde das Konzept studiert.

In vielen Studienphasen.

Die Mission wurde dann beschlossen, 2012 etwa.

Und dann 2023 Start.

Und Ankunft ist dann nochmal acht Jahre später.

Also das sind fast 25 Jahre etwa.

Muss das so lange dauern?

Also könnte das schneller gehen, wenn man mehr Geld draufwerfen würde?

Oder braucht es halt so lange, weil es halt so lange braucht?

Ja, ich glaube, man könnte es sicher...

Ja, man kann es mit Geld...

Könnte man es natürlich beschleunigen, wenn man mehr Leute, mehr Firmen involvieren würde, daran arbeiten lassen würde.

Aber die Konzepte zu entwickeln, das ist natürlich auch was, was Zeit braucht.

Und die Entwicklung braucht man auch, aufgrund der speziellen Anforderungen solcher Missionen, an die Technik auch, ist auch Entwicklungsarbeit notwendig.

Es müssen Sachen entwickelt werden, die vorher gar nicht vorhanden sind.

Bei BepiColombo beispielsweise ist die Entwicklung der Solar Panels, war schwierig, weil aufgrund der Sonnennähe da eine sehr starke UV-Strahlung ist.

Die würden also sehr schnell degradieren, nachlassen in ihrer Effizienz.

Man muss spezielle Dinge entwickeln, die das aushalten.

Bei JUICE muss man Bauteile verwenden, die strahlungsresistent sind, weil die Strahlungsumgebung da sehr intensiv ist.

Also auch da sind viele Testphasen, Entwicklungsarbeit, dann wieder Testphasen

notwendig.

Und das sind die langen Zeiträume dann.

Wann gibt es dann die ersten Daten?

Also wann fangt ihr an zu messen am Merkur?

Am Merkur Anfang 27.

Also einschwenken in den Merkur-Orbit ist Ende 26.

Dann werden nochmal sehr viele Tests der Raumsonde gemacht.

Also wir werden dann auch das Laser-Altimeter anschalten, testen, ob das alles funktioniert, so wie wir uns das vorstellen.

Und dann die wirklich, also das nennt man Commissioning-Phase, da macht man wirklich viele Tests, Performance-Tests, ob der Betrieb, der Instrumente wirklich so ist, wie man das geplant hat.

Und dann beginnt offiziell die wissenschaftliche Phase, dann Anfang 27.

Und die dauert wie lange?

Die dauert ein Jahr.

Ein Jahr nominelle Mission, aber auch jetzt plant man eigentlich schon eine Verlängerung der Mission um ein weiteres Jahr.

Also das wäre Extended Mission.

Einfach nochmal nachmessen, weil mehr Daten mehr gut.

Ne, da muss man schon genaue Konzepte vorlegen, was man weiter messen möchte.

Also der Erfolg der Mission ist natürlich auch definiert und die Planung der Mission ist so, dass die Hauptziele nach diesem einen Jahr erreicht werden.

Wenn dann noch die Raumsonde in einem Zustand ist, dass man die Mission fortführen kann.

Das wäre jetzt mal eine Frage gewesen, wie lange werden die leben?

Ja, also garantiert ein Jahr, aber die BepiColombo-Mission ist eigentlich für länger ausgelegt.

Schon in der Planungsphase ist man eigentlich von diesem zweiten Jahr so ein bisschen ausgegangen.

Was, wenn die Dinger fünf Jahre leben?

Ja, also es gibt... Sitzt denn irgendwo so ein einsamer Postdoc irgendwo im Keller und pingt regelmäßig nochmal BepiColombo und sagt, "Hier, komm!"?

Ja, also das ist auch von Mission zu Mission unterschiedlich.

Natürlich will man die Phase... Also wenn die Raumsonde noch in der Lage ist, Daten aufzunehmen, will man das natürlich verlängern, klar.

Wir sehen ja, was mit Voyager passiert ist.

Genau, Voyager wird auch immer noch angepinkt.

Ja, eben.

Es gibt aber Missionen, Beispiel ist Mars Express.

Das ist ein Mars-Orbiter der ESA, der ist seit 20 Jahren im Mars-Orbit und liefert nach wie vor gute Daten und wurde immer mehrmals verlängert.

Es gibt andere Beispiele, wo die Missionen kurz sind oder wo die Missionen dann beendet werden.

Interessantes Beispiel ist die Raumsonden zum äußeren Sonnensystem.

Also Galileo war ein Jupiter-Orbiter, der NASA, oder Cassini war ein Saturn-Orbiter.

Bei Galileo hat man das zum ersten Mal gemacht.

Da kommen wir jetzt auch ein bisschen zum Jupiter-System.

Goldene Überleitung.

Da war es so, dass die Galileo-Mission während ihrer Mission von '95 bis 2003, war also acht Jahre im Jupiter-Orbit, da Hinweise oder ziemlich gute Hinweise darauf gefunden hat, dass es auf Europa einem der Monde flüssiges Wasser gibt im Innern, also ein Ozean aus Wasser und dass daher die Bedingungen für Leben oder für die Entwicklung von Leben im Jupiter-System, insbesondere auf Europa, besonders günstig sind.

Und man hatte die Raumsonde damals zum Start nicht sterilisiert.

Also die ist kontaminiert mit Bakterien von der Erde.

Das heißt, man kann sie jetzt nicht auf Europa werfen und sagen, "Ha, wir haben Bakterien gefunden." Genau, genau so ist es.

Und wenn man eine Mission beendet und sozusagen abschaltet, nicht mehr die Raumsonde verfolgt, wo die sich befindet, also komplett alle Operations stoppt, würde man nicht mehr sagen können nach so und so vielen Jahren, wo die Raumsonde ist, beziehungsweise es gäbe eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass die nach wie vielen Jahren auch immer auf Europa aufschlägt.

Und um das zu vermeiden, eben genau aus dem Grund, dass wenn ich Leben auf Europa nachweisen möchte, muss ich sicher sein, dass es nicht Leben ist, was ich von der Erde selber dort hingebraucht habe.

Aus dem Grund hat man die Raumsonde dann in der Jupiter-Atmosphäre verglühen lassen.

Also man hat die am Ende der Mission tatsächlich auf den Jupiter gesteuert und in der Jupiter-Atmosphäre verglüht die dann.

Sendet die oder nimmt die währenddessen dann auch noch Daten, mit denen ihr dann auch noch mal was anfangen könnt, so bis zum letzten Moment?

Ja, also in dem Fall nimmt man natürlich so lange wie möglich Daten auf.

Und die Phase, wo das eintaucht in die Atmosphäre, da kann man dann keine Daten mehr bekommen.

Also das ist dann wirklich auch unkontrolliert.

Die Raumsonde kann auch ihre Orientierung dann nicht mehr behalten über Erde, um die Daten zu senden.

Stimmt, man muss ja auch die Antenne irgendwie ausrichten.

Ja, die Antenne muss immer Richtung Erde, Richtung Bodenstation zeigen.

Und das ist auch eins der Probleme.

Also die Kommunikation der Raumsonde mit der Erde muss natürlich auch geplant werden.

Auch das ist aufwendig.

Das ist zum Beispiel auch so eine Sache bei den Marsländern oder bei Ländern allgemein.

In ihrer Flugphase hat man das Tracking mit der Bodenstation.

Aber dann in der Phase, wo die durch die Marsatmosphäre landen, in dieser Landephase, da bricht der Kontakt ab.

Und wenn sie gelandet sind erfolgreich, finden die dann anhand der Position der Sonne, finden die selbstständig die Position der Erde und melden sich dann mit einem Signal nach dem Motto "Hallo, ich bin hier angekommen".

Funktioniert das eigentlich immer? Also ist das schon mal schiefgegangen?

Das ist auch schiefgegangen, ja. Gerade Landemissionen sind da sehr

kompliziert.

Und das ist auch, gab es auch Fehlschläge.

Aber die letzten Marsmissionen, insbesondere der NASA, waren da sehr erfolgreich.

Aber da hat man tatsächlich die Phase, wo kein Kontakt ist, planmäßig, und man dann darauf wartet, dass sich die Raumsonde wieder meldet.

Oder der Länder sich meldet.

Wie lange? Also wie lange ist das Stück im Kontrollzentrum?

Ja, würde ich jetzt so schätzen, ja.

So, wir waren am Jupiter mit JUICE. Was heißt JUICE?

JUICE ist ein Akronym in dem Fall.

Guck mal.

Steht für Jupiter Icy Moons Explorer.

Alle Eismonde des Jupiters angucken gehen. Wie viele sind das?

Das sind drei. Also am Jupitersystem haben wir vier große Monde.

Wir haben insgesamt, das finden wir, ich weiß jetzt nicht die ganz aktuelle Zahl, aber ich glaube um die 90 Monde. Die meisten davon sind sehr klein.

Also Jupiter hat vier große Monde. Die Galileischen Monde.

90 kleine Monde. Jupiter ist sehr groß.

Jupiter ist sehr groß, ja.

Die meisten Monde sind einige Kilometer nur groß.

Also das sind, kann man sich vorstellen wie Asteroiden, die vom Jupiter eingefangen wurden, die auf sehr elliptischen Bahnen weit draußen den Jupiter umkreisen.

Aber es gibt vier große Monde, wie gesagt.

Die Galileischen Monde von Galileo Galilei, 1610 zum ersten Mal dokumentiert.

Und die sind von der Größe, um das einzuordnen, etwa wie der Erdmond.

Und der größte Ganymed, der größte Mond, ist tatsächlich größer als der Planet Merkur.

Also man hat es hier schon mit großen Monden zu tun und die umkreisen eben den riesen Planeten Jupiter.

Fliegen wir da hin zu Ganymed?

Ja, also Zeus wird am Ende sogar in Orbit um den Ganymed einschwenken.

Zeus wird am Anfang im Jupiter Orbit sein.

Also den Planeten selbst natürlich auch untersuchen.

Aber Vorbeiflüge an drei der vier galileischen Monde machen Europa, Ganymed und Callisto.

Und das sind eben die Eismonde.

Diese Monde haben außen Eisoberflächen, im Inneren möglicherweise flüssiges Wasser.

Also das vermuten wir tatsächlich bei allen dreien dieser Monde, dass sie Ozeane unter den kalten Eisoberflächen haben.

Und für jeden Einzelnen dieser Monde wäre es tatsächlich mehr Wasser, als wir in den Ozeanen auf der Erde haben.

Also es ist richtig viel flüssiges Wasser möglicherweise dort vorhanden.

Wie kommt ihr darauf, dass da flüssiges Wasser sein könnte?

Einerseits muss man, jetzt sind wir wieder bei der Entstehung des Sonnensystems, also Modellrechnung von der Entstehung des Sonnensystems.

Die sagen natürlich aus, dass im Inneren nahe der Sonne war die Temperatur sehr hoch.

Wenn ich weiter nach außen, je weiter außen ich mich befinde, desto kälter wird es da.

Und es gibt irgendwo die Grenze, wo Wasser tatsächlich als Eis vorhanden ist.

Also wo ich mit der Temperatur unterhalb des Gefrierpunkts von Eis bin.

Und das heißt, außen im Sonnensystem kann Eis tatsächlich in die Planeten oder in die Monde in dem Fall mit eingebaut werden als feste Komponente.

Und das passiert tatsächlich dann auch.

Ja, aber woher wisst ihr, dass das passiert? Mutmaßen kann ich das auch.

Klar, nah an der Sonne verdampft das alles, aber da draußen ist alles richtig.

Ihr müsst ja auch vorher schon mal eine Vorstellung davon gehabt haben, wie viel Eis ist insgesamt da.

Genau, das kann man auch messen. Man sieht das in Sternentstehungsgebieten.

Also Eis oder Wasser und insbesondere Wasserstoff, Sauerstoff sind häufig vorkommende Komponenten.

Findet man in den Molekülwolken, in den Entstehungsgebieten für planetare Systeme, wird das mit eingebaut.

Also es wäre schon äußerst ungewöhnlich, wenn kein Eis da wäre oder Wasser.

Und ich kann es natürlich auch spektroskopisch nachweisen.

Das heißt, wir wissen von der Erdbeobachtung von der Erde aus, dass die Monde oder auch die Kometen, die auch von sehr weit draußen im Sonnensystem stammen, zum Großteil aus Wassereis bestehen.

Also das ist sozusagen, ja, das wusste man vorher.

Das passt auch zu den Theorien der Entstehung dieser Monde.

Großer Hinweis ist natürlich die Dichte.

Wenn ich vor Ort die Masse messen kann oder den Radius, dann kann ich sehr schnell die mittlere Dichte bestimmen von den Monen.

Wenn die stark abweicht von der Gesteinsdichte, dann weiß ich schon mal, okay, hier sind sehr viele leichtere Komponenten mit eingebaut.

Und von den leichteren Komponenten ist tatsächlich das Wassereis dann in der Region das häufigste.

Wie weist ihr nach oder wie messt ihr, dass es tatsächlich Wassereis ist?

Das Wassereis verrät sich durch spektroskopisch, also das Sonnenlicht, was reflektiert wird von Eis, also von H₂O in dem Fall, hat eine charakteristische Wellenlänge oder Wellenlängen werden in charakteristischer Weise reflektiert.

Und das kann man messen, also mit einem Spektrometer.

Aber könnte man das nicht von hier aus sogar messen?

Warum vermutet ihr dann nur, dass da Wassereis ist?

Nein, das Eis ist definitiv von... Das flüssige Wasser, das ist sozusagen indirekt.

Das Eis ist definitiv von, also 99 Prozent oder mehr der Oberfläche von Europa... Das heißt, wenn wir das Wasser haben wollten, müssten wir das Ding nur schmelzen geben?

Ja, genau. Also die Oberfläche von Jupiter Moon Europa beispielsweise besteht zu über 99 Prozent aus Wassereis.

Das ist kontaminiert mit ein bisschen anderen Sachen, die durch Meteoriten da...
Könnte es sein, dass das ganze Ding aus Wassereis besteht?

Nein, das kann wiederum nicht sein, weil dann die Dichte ist zu hoch.

Wir wissen, dass Europa Gesteinskern besitzt, wahrscheinlich auch einen metallischen Kern.

Und sich das Wassereis nur außen in der äußersten Schicht, also in außen heißt es jetzt 200 Kilometer etwa, befindet sich Wassereis.

Und das kann teilweise flüssig sein.

Und damit man jetzt nachweist, dass es tatsächlich flüssig ist, da ist mehr Aufwand dann notwendig.

Weil das kann man so natürlich nicht unterscheiden.

Von der Dichte kann man es auch nicht unterscheiden.

Die Dichte zwischen flüssigem Wasser und Wassereis ist relativ gering.

Das heißt, man kann es im Gravitationsfeld dann auch nur schwer nachmessen.

Und dann sind indirekte Hinweise gefunden worden.

Und eine wichtige Messung war dann wiederum das Magnetfeld.

Also Europa hat zwar kein eigenes Magnetfeld, aber Jupiter hat ein sehr starkes Magnetfeld.

Und der Mond Europa bewegt sich in der Äquator, im Äquator Jupiters.

Aber das Magnetfeld Jupiters ist etwas geneigt gegenüber der Rotationsachse.

Also wie bei der Erde, Rotationsachse und Magnetfeldrichtung stimmen bei Jupiter nicht exakt überein.

Etwa 10 Grad Abweichung.

Und das heißt, es gibt so eine kegelförmige Bewegung, so eine, wie sagt man, so eine... Ja, kegelförmige Bewegung.

Kann man sich vorstellen.

Kennen wir auch, wenn wir so Animationen von der Erdachse sehen.

Ja, genau. Genauso ist es beim Jupiter auch.

Und das bedeutet, die Monde, die in der Äquator-Ebene umlaufen, die spüren ein sich zeitlich veränderndes Magnetfeld.

In Richtung und in Stärke auch.

Und dieses zeitlich sich verändernde Magnetfeld, das kann Strom induzieren.

Und dieser Strom bildet ein Sekundärfeld aus, was bei den Monden tatsächlich entsteht.

Also man hat das bei Europa beispielsweise nachgewiesen.

Und das heißt, dass innerhalb dieses, irgendwo im Innern des Mondes, ein guter elektrischer Leiter vorhanden sein muss, der diese Ströme und diese Magnetfelder induziert.

Also es ist ein sekundäres Feld, was nur aufgrund des Jupiter-Feldes entsteht.

Aber es kann nur entstehen, wenn sehr gut elektrisch leitendes Material vorhanden ist.

Und die Datenanalyse hat auch ergeben, dass dieses Feld nicht im tiefen Inneren, also beispielsweise nicht in einem Eisenkern, sondern nah unter der Oberfläche, also in den ersten paar hundert Kilometern unterhalb der Oberfläche, entsteht.

Das heißt, ein See aus Eisen unter Wassereis.

Nee, die...

Das wäre wieder das Dichte-Problem.

Wenn das Eisen wäre, wäre es dichter.

Ja, ja. Das kann man auch...

Ja, und die Idee oder die einzige plausible Erklärung, die man dann für dieses Magnetfeld hat, ist, dass da flüssiges Wasser ist und Salze gelöst sind.

Und das ist ein sehr guter elektrischer Leiter.

Und da geht man auch davon aus, dass diese Ozeane global sind.

Also die umschließen den gesamten Kern sozusagen und sind elektrisch sehr gut leitend, wenn sich dort Salze oder Ionen im Wasser gelöst sind.

Und die können auch quantitativ, also auch in der Stärke des Feldes, diese Beobachtung erklären.

Das war einer der Hinweise, indirekter Hinweis auf diese Ozeane, der damals während der Galileo-Mission stark diskutiert wurde.

Mit JUICE würde man jetzt noch weitere indirekte Hinweise sammeln.

Ich wollte gerade fragen, eigentlich wollt ihr doch einen Bohrer auf den Monden absetzen.

Oder noch ein U-Boot unterhalb des Eises.

Das wären so Szenarien, die...

Also sicher sein könnt ihr euch doch wirklich nicht.

Sicher sein könnt ihr euch erst, wenn ihr wirklich gelandet seid.

Ja, also es gibt ein paar Sachen, die wir tatsächlich untersuchen können.

Also ein wichtiges Instrument für die Mission ist das Radarinstrument.

Also wir können mithilfe von Radar, also Radiowellen, unter die Eisoberfläche schauen.

Und dort kann man mit dem Radar flüssiges Wasser tatsächlich nachweisen.

Also wenn es jetzt so eine Grenze zwischen festem Eis und flüssigem Wasser gibt, dann ändert sich die elektrische oder die Elektrizitätskonstante beider Materialien und das würde im Radarsignal sofort sichtbar werden.

Das Problem wiederum bei dem Radar ist, es kann nicht beliebig tief eindringen, weil man bräuchte sonst riesige Antennen.

Die Antennen sind schon sehr groß, also die man benutzt, um bei Europa etwa, je nach Beschaffenheit des Eises, das wissen wir natürlich nicht genau, etwa 30 Kilometer eindringen kann.

Das heißt, wir müssen hoffen, dass es irgendwo eine Stelle gibt, wo das Eis nur 29 Kilometer dick ist.

Ja, das sind alles Schätzungen natürlich.

Aber dann würde man es sehen.

Also es gibt für Europa Modelle, die einerseits sagen, das Eis ist sehr dünn, also nur wenige Kilometer.

Es gibt andere Modelle, die auch genauso zu den bisherigen Daten passen, die sagen, das sind einige Zehner, 30, 40 Kilometer oder vielleicht sogar mehr.

Dann würde man diese Grenze mit dem Radar nicht sehen.

Aber das ist genau die Sache einer solchen Mission.

Die muss unterscheiden zwischen jetzigen Hypothesen.

Die Datenlage ist im Moment so, dass wir nicht sagen können, ist es wirklich tatsächlich nah an der Oberfläche oder tiefer im Eis.

Wir können aber auch aufgrund anderer Messungen mit JUICE dann ausschließen, dass das Eis komplett fest ist.

Also das würde man tatsächlich indirekt nachweisen können.

Das eine sind die Magnetfelder, die werden nochmal sehr viel genauer und bei verschiedenen Frequenzen des sich ändernden Magnetfelds gemessen mit JUICE.

Und wir werden auch die Gezeitenwirkungen, da sind wir wieder ähnlich wie vorhin bei Merkur, bei den Gezeitenwirkungen und die sind im Jupiter-System extrem.

Also nirgendwo sonst sind die Gezeitenkräfte so groß wie am Jupiter.

Es liegt auch daran, dass die Monde relativ nah an diesem riesen Planeten, sehr massiven Planeten sind und auf Umlaufbahnen umkreisen, die ein bisschen elliptisch sind und da treten extreme Gezeitendeformationen auf.

Also bei Europa wäre das tatsächlich 60 Meter Höhenunterschiede der Eisoberfläche während eines Umlaufs.

Wie lange ist so ein Umlauf?

Bei Europa dreieinhalb Tage, Ganymed eine Woche etwa.

Das muss man abkönnen, ja.

Ja, die müssen einiges aushalten, nicht nur die Strahlung, sondern auch mechanisch.

Man sieht es aber auch an den Oberflächen, dass die Oberfläche stresst.

Das ist ein weiterer Punkt, der Hinweise gibt, wie es im Inneren aussieht, wenn man die Oberflächen genauer untersucht, geologisch interpretiert.

Und mit dem Laseraltimeter bei Ganymed wollen wir, da sind die Gezeitenwirkungen nicht mehr ganz so extrem, weil die stark abnehmen mit zunehmendem Abstand von Jupiter.

Europa ist näher am Jupiter als Ganymed.

Und wir haben da aber auch noch Gezeitenamplituden von etwa acht Metern unter der Voraussetzung, dass dieser Ozean vorhanden ist.

Und wenn das Eis komplett fest ist, wenn kein Ozean da wäre, dann ist diese Gezeitenamplitude etwa zehn Zentimeter oder so was, deutlich geringer als diese acht Meter.

Um das zu messen, müssen wir aber hinfliegen.

Das geht nur im Orbit und das geht mithilfe der Laseraltimetrie, wollen wir diese Messungen durchführen.

Und das ist ein anderer, sehr komplementärer Hinweis auf ein Ozean im Vergleich zu den Magnetfeldmessungen.

Das sind ganz andere Messungen, ganz andere mechanische Kräfte spielen hier

eine Rolle, keine elektromagnetischen.

Und so können wir dann doch eindeutig Indizien auf so ein Ozean bekommen, wenn wir diese verschiedenen Messungen kombinieren.

Hinzu kommt noch die Messung des Gravitationsfeldes.

Da kann man die Gezeitenkräfte auch deutlich nachweisen.

Und auch dort ist dieser Ozean, würde einen großen Unterschied in dem gravitativen Signal machen, im Gezeitensignal.

Laseraltimetrie ist das, was ich mit meinem Laserentfernungsmesser zu Hause mache, nur auf Planetar.

Genau, okay.

Warum gehen wir ausgerechnet bei Ganymede in den Orbit?

Also es gab vorher, ja, ich muss ein bisschen auf die Historie der Mission so eingehen, auf die Planung, die auch so lange, haben wir ja vorhin gesagt, sehr lange andauern.

Ursprünglich war geplant, zwei Orbiter, gemeinsam NASA und ESA, zum Jupiter zu schicken.

Und das eine wäre ein Europa-Orbiter gewesen und das andere ein Ganymede-Orbiter.

Ganymede will man einerseits natürlich wegen dem Ozean erforschen, genauso wie Europa und Callisto auch.

Welcher ist eigentlich Nummer vier, um den wir uns nicht kümmern?

Callisto. Ach so, Nummer vier wäre Io, der Innerste.

Io, der Innere, okay.

Io ist kein Eismond, sondern Io hat Gesteinsoberfläche.

Und Io ist sicherlich auch aus planetarer Sicht ein sehr interessantes Ziel, hat aber kein Eis an der Oberfläche und ist der vulkanisch aktivste Körper im Sonnensystem. Das liegt auch an den Gezeitkräften, weil Io ist der Innerste Mond.

Aber man hat sich hier auf die Eismonde und das flüssige Wasser aufgrund der Suche nach Leben letztendlich konzentriert.

Und da sind Europa, Ganymede und Callisto eben die Kandidaten.

Und Ganymede wurde ausgewählt einerseits auch, ja, um die Entwicklung Ganymedes zu verstehen.

Ganymede hat, wie gesagt, habe ich vorhin kurz erwähnt, auch ein eigenes Magnetfeld.

Wir wissen, dass Ganymede dynamo ist, hat und ein selbsterzeugtes Magnetfeld hat.

Und das war sehr überraschend während der Galileo-Mission, dass das magnetische Signal, also ein Dipol-Signal, Dipolfeld dort gemessen wurde.

Das heißt, er ist thermal auch aktiv.

Es gibt einen flüssigen Kern oder flüssigen äußeren Kern.

Bei Ganymede verschiedene, also, ja, Ganymede ist ein klassischer Eismond.

Anders als Europa hat er etwa 50 Prozent Eis, 50 Prozent Gestein.

Also da sind riesige Mengen an Eis beziehungsweise Wasser vorhanden.

Und ja, der Ozean liegt bei Ganymede tiefer unter der Oberfläche.

Also wir gehen davon aus, dass da 70 bis 100 Kilometer Eis, festes Eis, außen sind.

Und dann aber ein Ozean, der mehrere 100 Kilometer tief sein könnte.

Aber sehen werden wir den nicht können, weil der Radar ist so tief.

Der liegt zu tief. Mit dem Radar werden wir den nicht sehen können.

Aber wir können auch mit dem Radar, das ist natürlich nicht nur da, um jetzt das flüssige Wasser nachzuweisen, sondern auch, um die Dynamik im Eis zu vermessen.

Ob dort Konvektionsströme vorhanden sind, wie die Dynamik oder die Verbindung des Ozeans, wenn er da ist, mit der Eisoberfläche, wie das erfolgt.

Und das gibt wichtige Aufschlüsse auch in diesem ganzen Verständnis der Dynamik der Eismonde.

Also einerseits vom Ganymede, aber Ähnliches auch bei Europa.

Also das Radar-Instrument ist natürlich, ja einerseits da, um flüssiges Wasser zu finden, aber es wird auch, wenn das nicht gelingt, natürlich viel über die Eisschicht und deren Entwicklung und Temperaturverlauf im Innern des Eises auch aussagen können.

- 2027 fangen wir damit an, oder wann?

- Nee, das war Merkur.

- 27. Genau, 27 war Merkur.

- Juice ist später.

- Später? War das nicht 26 in Jupiter-Orbit?

- Nee, nee, das wäre schön.

- Oh.

- Nee, nee, da müssen wir uns gedulden. Bis 2031.

- 31 in Jupiter-Orbit.

- 31.

- Dann ein paar Mal darum, dann ein paar Mal um die Monde.

- Ja, und dann 33 oder 34, bin ich mir jetzt nicht ganz sicher, einschwenken in Ganymede-Orbit.

- Und wie lange bleiben wir dann da?
- Mindestens 130 Tage, aber wahrscheinlich länger.

Also wir haben tatsächlich durch den sehr gelungenen Start der Raumsonde, also es waren keine Kurskorrekturen notwendig nach dem Start und auch der Vorbeiflug an der Erde und am Erde-Mond-System hat sehr gut geklappt.

Das heißt, man hat hier eine Menge Treibstoff gespart, dass die Extended Mission, also die Verlängerung der Mission, im Moment fest eingeplant wird.

Also, und da können wir dann länger im Orbit bleiben und auch nochmal von 500 Kilometern, das ist der nominelle Orbit, der geplant war, auf 200 Kilometer runtergehen.

Also nochmal näher dran, was für unsere Messungen dann sehr gut ist, nochmal in der letzten Phase der Mission detaillierte Messungen zu machen.

- Wann gehst du in Rente?
- 2037.
- Also bis dahin noch irgendwas anderes machen als Juice und Baby Colombo?
- Ja, ja, ich denke schon.

Also es gibt eine Menge Projekte, die...

- Obwohl, Moment, die fangen ja dann eigentlich erst an.

Also das heißt, du kriegst...

- Naja, die schließen sich gut aneinander an.

Also Merkur wäre jetzt 2027.

Merkur sind wir auch jetzt sehr intensiv mit der Planung der wissenschaftlichen Phase beschäftigt.

Danach kommt dann Juice langsam dem Jupiter näher.

Also dann müssen wir da die wissenschaftliche Planung komplett abschließen und dann kommen natürlich die Daten, Datenauswertung.

Aber es gibt natürlich, wir haben es vorhin schon gesagt, also die...

Von der Idee bis zur Durchführung der Mission ist extrem viel Vorlauf.

Und man plant natürlich jetzt schon zukünftige Missionen, die dann in den 40ern beispielsweise...

- Was hast du da noch alles vor?

- Enceladus, Enceladus ist sehr interessant.

- Ja, du hast es eingangs gesagt, ist wissenschaftlich hochinteressant, habe ich mir aufgeschrieben.

Das heißt, es wird eine Enceladus-Mission geben.

- Ich hoffe ja.

Es gibt natürlich viele Ideen.

Auch da hat natürlich...

Ja, haben viele Ziele, ihre Berechtigung, dort hinzufiegen.

Das Geld ist natürlich immer knapp dafür.

Aber Enceladus ist auch einer der Eismonde.

Und Enceladus ist thermisch aktiv.

Also es gibt...

- Moment, wo war der nochmal?

- Saturn, Saturnmond.

Saturn ist nochmal weiter draußen.

Also nochmal fast doppelt so weit entfernt wie Jupiter.

Lange Flugzeit, schwer zu erreichen.

Also es ist eine schwierige Mission, definitiv.

Eine aufwendige Mission.

Aber sämtliche Weltraumorganisationen, jetzt wie NASA oder ESA, haben

Enceladus da im Blick.

- Schon akronym?

- Nee, da kann ich...

Wenn du einen Vorschlag hast...

- Was war es? Saturn, Enceladus...

- Saturn? - Zack!

(lacht)

- SAC.

- Nee.

- SAC. Saturn, Enceladus...

Nee. SEM.

(lacht)

- Saturn, Enceladus-Mission.

Wahrscheinlich muss da noch ein Detail-Experiment rein.

Was für Experimente werden...

Wahrscheinlich auch dann Altimeter, Radar.

- Ja, Radar auf jeden Fall.

Kameras natürlich auf jeden Fall.

Aber das Missionsakronym muss natürlich alle Instrumente umfassen.

Da kann man nicht eins speziell herausnehmen.

- Oh, okay.

- Klar, die Instrumente haben natürlich auch ihre Akronyme.

Also GALA als Gunny Laser Altimeter.

- Das andere war BLA.

- Wir würden dann wahrscheinlich einen ELA schicken, wenn wir die Gelegenheit haben.

- Enceladus Laser Altimeter.

- Was ist denn BLA?

- BLA ist BepiColombo.

- Ah, Bepi, okay.

Und GALA, Gunny... Ah, ja, ja, ich hab's gerade verkehrt herum aufgeschrieben.

Jetzt sind wir aber ganz schräg abgeschweift gerade.

- Ja, wir waren bei...

- Enceladus und warum der wissenschaftlich so interessant ist.

- Ja, also wir wissen, dass er geologisch aktiv ist.

Wir wissen, auch da wieder indirekte Hinweise haben wir darauf nur, dass er einen Ozean unter seiner Eisoberfläche hat.

Aber die Aktivität sagt halt auch, die ist thermisch getrieben. Das heißt, es ist auf jeden Fall, es sind Wärmequellen vorhanden und auch da ist die Suche nach Leben außerhalb der Erde eine treibende Kraft für so eine Mission. Man könnte dort auch tatsächlich Material aus dem Inneren in diesen aktiven Plumes, also der tatsächlich so Geysire, kann man sich vorstellen, wo hauptsächlich Wassereis, aber auch andere Materialien rausgeschleudert werden.

Und die könnte man dann auch detektieren und sampeln.

- Könnte man landen?

- Mit der nächsten Mission wahrscheinlich nicht. Also das hängt auch damit zusammen, dass man diese Orbiter braucht, um die Oberfläche genau zu untersuchen und genau zu kartieren und auch die Topografie genau zu kennen, die Höhenverteilung. Sonst würde eine Landemission wäre zu risikoreich.

Also wenn ich jetzt...

Also es wäre schön beispielsweise Europa-Länder zum Jupiter-System zu

schicken, aber es wäre ohne vorher jemals im Orbit, um Europa gewesen zu sein, oder Ganymed könnte man auch nehmen, wäre es zu risikoreich, dort ein Länder...

- Kann die KI das nicht?

- Ja.

Ja. Wenn man sich darauf verlassen müsste...

- Ja, ne, mit solchen Vorläufen, mit solchen Kosten, wenn es irgendwie nächstes Jahr wäre und nach einem Bildschlag dann nochmal übernächst ist, aber so geht das, da wird man ja irre. - Also mit Autonomie ist man in so planetaren Missionen auch immer sehr vorsichtig.

Also es ist wirklich, wenn dann was schief geht, ist es halt schwer zu sagen, woran lag es.

Und ja, es ist bei den Eismonen auf jeden Fall auch kein einfaches Landemanöver möglich.

Also einerseits hat man es damit... Die haben keine Atmosphären.

Also man kann nicht abbremsen in einer Atmosphäre.

Man kann es landen auf dem Mars oder auf dem Saturnmon Titan, der auch eine dichte Atmosphäre hat. Das ist in Führungsstrichen wesentlich leichter als auf einem atmosphärenlosen Körper, weil man muss weniger abbremsen. Man nutzt die Atmosphäre zum abbremsen. Man kann Fallschirme benutzen, das ist alles nicht möglich bei einem Eismon, der keine Atmosphäre hat.

Und wenn man durch Triebwerke abbremst, ist das bei einer Eisoberfläche auch riskant.

- Stimmt, man schmilzt das ja ab, ja klar.

- Ja, es verdampft. Also es ist alles kompliziert. - Das muss man halt auch wieder berechnen.

- Ja.

Die Oberflächen sind auch nicht glatt, die sind sehr rau.

Also man hat sehr zerklüftetes Eis.

Also das ist... Da ein Gebiet zu finden, wo man sicher landen kann, ist nicht leicht. Und dazu braucht man eben die Orbiter, die Vorläufermissionen.

Man macht das wirklich...

Braucht man eine systematische Erkundung dieser Eismonde, um dann Landemissionen zu fliegen. Aber das wäre natürlich...

Klar, das wäre der nächste Schritt dann.

Und der übernächste wäre, tatsächlich im Ozean, den Ozean zu erkunden. - Aber dann sind wahrscheinlich unsere Kinder in Rente.

Jetzt fliegen wir da raus, um Leben zu finden. - Ja.

- Oder um nachzugucken, ob da Leben ist.

- Ob Leben möglich wäre, ja. Also Leben nachzuweisen wird mit JUICE nicht möglich sein.

- Okay. - Aber die Bedingungen zu erforschen, ob sich dort Leben entwickelt, entwickeln kann, das ist möglich. Also wirklich nach diesem Ozean zu suchen, Nachweise zu finden, den Ozean zu charakterisieren, die Chemie genau zu bestimmen, welche Materialien sind da vorhanden an der Oberfläche oder möglicherweise im Ozean.

Kann sich da chemische Zyklen bilden, die Leben begünstigen oder ermöglichen? - Wie lautet die Antwort?

Was denkst du? Ist es ein reines Glücksspiel oder gibt es Hinweise darauf, dass die Antwort "Ja" lautet?

- Das ist Spekulation. - Das ist reine Spekulation.

- Ja. - Okay. - Reine Spekulation nicht. Also zumindest die Bedingungen sind dort halt vielversprechend. Also es gibt ein paar Orte im Sonnensystem, dazu gehört die Marsoberfläche oder innerhalb der äußeren Schichten der Marsoberfläche, wo sich Eis oder möglicherweise auch Wasser befindet oder befunden hat.

Da sucht man nach wie vor nach Anzeichen für Leben oder vielleicht früheres Marsleben.

Dann hat man die Eismonde, wo man tatsächlich flüssiges Wasser vorfindet.

Man hat durch die Gezeitenkräfte Energiequellen. Man hat möglicherweise Aktivität am Ozeanboden, also vulkanische Aktivität in den Silikaten. Das ist so eine Analogie zu den Blacksmokern, die wir auf der Erde kennen, wo sich auch Leben bilden konnte. Wir haben den Saturn-Mond Titan, der halt durch seine

spezielle Atmosphäre und seine Chemie, die auch einzigartig ist im Sonnensystem, sehr viel Methan, Ethan, organische Chemie, die dort an der Oberfläche möglich ist und die auch verbunden ist mit dem Inneren und mit der Atmosphäre. Auch da sind die Bedingungen möglicherweise günstig für die Entwicklung von Leben.

Und deswegen muss man an diesen Stellen suchen. Wie sind die Bedingungen tatsächlich? Man muss das charakterisieren.

Wie ist diese Umgebung, die wir dort vorfinden? Aber Leben nachzuweisen ist nochmal ein weiterer Schritt. Also das wird schwierig.

Angenommen, Juice sagt, die Bedingungen für Leben sind gut.

Wir werden mit hoher Wahrscheinlichkeit hier Leben sogar finden können. Das können wir aber nur, wenn wir da landen.

Angenommen, da ist Leben. Dürfen wir da landen?

Und ich rede nicht von intelligentem Leben, sondern ich einfach nur, dürfen wir, also steht uns das zu, da einzugreifen, was wir unweigerlich tun, wenn wir landen?

Ja, also es gibt auf jeden Fall Regularien, was in solchen Fällen, die dann greifen würden. Also es gibt, es nennt sich Planetary Protection.

Es sind, also die Staatengemeinschaft oder die meisten Staaten haben dort auch zugestimmt und die planetaren Ziele sind klassifiziert nach bestimmten Klassen, die eben die Wahrscheinlichkeit beschreiben, ob dort Leben vorhanden ist oder nicht. Also Mars wäre beispielsweise höher klassifiziert als jetzt Merkur.

Aufgrund der thermischen Umgebung ist dann nicht zu erwarten, dass man

Leben an der Oberfläche findet oder nahe der Oberfläche.

Bei Mars sieht das anders aus und bei dem Jupiter-Mond Europa eben aufgrund des Ozeans und aufgrund der Tatsache, dass der Ozean möglicherweise sehr nah an der Oberfläche ist, ist er auch sehr hoch klassifiziert und das heißt, man würde dort Länder hin, also Landeelemente nur hinschicken, die dann komplett sterilisiert sind. Also man würde keine Bakterien oder Leben von der Erde dort durch eine Mission hintragen.

Aber die Untersuchung, ob es dort Leben gibt, die würde ich jetzt nicht infrage stellen. Die kann man durchaus machen. Oder was wäre der Grund, das nicht zu tun? – Es müsste schon komplexeres Leben sein, dass man dann tatsächlich durch die Anwesenheit stört.

– Ja, aber es ist ja vergleichbar mit Regionen auf der Erde, wo man Ökosysteme hat, die man möglicherweise nicht stören will.

Das wäre vielleicht, der beste Vergleich wäre vielleicht der Lake Wostock, also diese unterirdischen Seen in der Antarktis, wo man halt auch flüssiges Wasser, flüssige Seen unter dem Eis vorfindet, die sozusagen – Und falls es tatsächlich wirklich höheres Leben gibt und sich dann irgendwann so aus unserem kleinen U-Boot ein Maschinenplanet entwickelt, der uns überfällt, dann haben wir halt Pech gehabt.

– Na, dann...

(lacht)

– Ja, na ja.

– Wir machen da jetzt wieder weg, gar nicht, ne?

Hauke Hoßmann, vielen Dank!

– Danke, ich bedanke mich. Hat Spaß gemacht.

(Musik)

[Musik]

[Musik]