

12. Jan. 16.29.26

RES148_Planetenforschung

Willkommen zum Forschungspodcast der Helmholtz-Gemeinschaft.

Ich bin Holger Klein.

(Musik) Ich bin diesmal nicht an Helmholtz-Institut gefahren, sondern wir sitzen in einer Berliner Kneipe in einem Raum vor Publikum.

Hallo Publikum!

Und nichtsdestotrotz sitzt mir gegenüber eine echte Wissenschaftlerin und zwar ist das Ana-Catalina Plesa.

Sie ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Planetenphysik am Institut für Planetenforschung beim DLR.

Hallo Ana.

Die Veranstaltung, die wir heute Abend machen, heißt "Unsere kosmische Nachbarschaft".

Wo beginnt eigentlich die kosmische Nachbarschaft bzw. wo endet die kosmische Nachbarschaft?

Ja, also im Prinzip, ich würde erst mal anfangen mit dem direkten Körper, was in unserer Nachbarschaft sich befindet, also in der Nachbarschaft der Erde.

Und zwar sind das der Mond natürlich und dann die anderen terrestrischen Planeten, der Mars, Venus und Merkur.

Also terrestrische Planeten heißt es letztendlich terrestrische Planeten, weil der Planet aus einer Silikatkruste, also einer Gesteinskruste, einem Gesteinsmantel und einem Eiseneisenkern, also Eisen-Nickel-Kern besteht.

Alle Planeten haben Eisen-Nickel-Kerne?

Die terrestrischen Planeten, ja.

Es gibt zum Beispiel andere Planeten in dem äußeren Sonnensystem, die Gasplaneten und deren Monde, die haben teilweise Kerne, die aus Eisen und Silikat, also die haben sich nicht vollständig differenziert, zum Beispiel einige von den Eismonden von Jupiter, also zum Beispiel Callisto ist ein gutes Beispiel.

Das heißt, die Hitze hat nicht ausgereicht, sodass der Metall sich von dem Gestein getrennt hat.

Ach, die Erde hat also einen Eisenkern, weil es so heiß war?

Genau, weil es am Anfang, als der Planet sich geformt hat, letztendlich ganz am Anfang in dem Sonnensystem, wo es ganz viele Kollisionen gegeben hat, aber auch durch den radioaktiven Zerfall von radioaktiven Elementen, entsteht sehr viel Wärme in dem Inneren von so einem Planet, der sich bildet, der sich aggregiert.

Und diese Wärme trägt dazu bei, dass letztendlich der Metall und Gestein sich trennt.

Also es entstehen während dieser ganz kurzen Zeit, während der Zeit, wo sich die Planeten formen, auch sogenannte Magma-Ozeane.

Also es ist letztendlich der Gesamtplanetes geschmolzen.

Und diese Wärme wird dann verloren mit der Zeit.

Der Magma-Ozean, dieser flüssige Gesteinsmantel, beginnt sich zu kühlen und dann entsteht ein fester Mantel nach einer gewissen Zeit.

Also der Körper ist vollständig ausgefroren und dann danach, der Körper hat immer noch Wärme innen drin, der er über die gesamte Evolution, also vor 4,5 Milliarden Jahren, als der Planet sich geformt hat, bis heute verliert sozusagen.

Also die Planeten kühlen aus.

Warum eigentlich so langsam?

Na ja, also vor allem, wenn der Gestein fest ist, dann ist dieser Wärmetransport relativ langsam gesehen.

Also man kann sich vorstellen, also was im Inneren von den Planeten in dem Gesteinsmantel passiert, das ähnelt sich ein bisschen so wie ein Wassertopf auf dem Herd.

Ja, also der Kern zum Beispiel hat viel, viel Wärme.

Das Wasser wird dann anfangen zu kochen und dann entstehen solche Bewegungen in dem Wassertopf und dadurch wird die Wärme sozusagen nach außen transportiert.

Das ist ähnlich, was in dem terrestrischen Planeten passiert, nur auf sehr, sehr langer Zeitskala, weil das ist letztendlich ein Gestein, das ist ein Gesteinsmantel.

Ja, aber es ist drumherum ja auch so kalt.

Ja, ja, genau.

Also drumherum ist es so kalt.

Also ich würde halt eigentlich erwarten, dass es wesentlich schneller auskühlt,

also knirsch.

Na ja, aber es ist, also man muss sich vorstellen, die Abstände in dem terrestrischen Planeten sind auch sehr groß.

Zum Beispiel die Erde, der Mantel der Erde ist etwa 3000 Kilometer, das heißt, es dauert erstmal diese ganze Wärme vom Inneren nach Außen oder zum äußeren Bereich zu transportieren und dann wird die Wärme über die Oberfläche abgestrahlt und dann kühlt das Planet sozusagen.

Wie warm wäre denn eigentlich die Erdoberfläche, wenn die Sonne nicht drauf scheinen würde?

Na ja, das ist ja letztendlich auch der Nacht sozusagen, ja.

Also es ist, bei der Erde, wir haben eine Atmosphäre und das puffert sozusagen die Temperaturen.

Also das ist zum Beispiel bei der Erde durch die Atmosphäre, die Temperaturen können nicht extrem kalt werden, wie zum Beispiel auf dem Mond.

Auf dem Mond haben wir keine Atmosphäre und da sind die Temperaturen deutlich, deutlich kälter.

Und das ist eben der Effekt der Atmosphäre.

Das ist bei der Venus auch sehr extrem, zum Beispiel durch die Dichte der Atmosphäre.

Es entsteht letztendlich fast kein Unterschied zwischen Tag und Nacht in der Temperatur.

Also es ist einfach, die Atmosphäre puffert die Temperatur.

Welche Planeten guckst du dir denn an?

Also guckst du dir überhaupt noch was anderes an, als die Planeten im Sonnensystem, also auch Exoplaneten?

Genau, also im Prinzip, was ich mache, sind numerische Simulationen.

Also es sind Computermodelle und wir gucken, wir schauen uns an durch Computermodelle, wie die Prozesse im Inneren von terrestrischen Planeten abspielen.

Ob es jetzt terrestrische Planeten im Sonnensystem oder außerhalb vom Sonnensystem, das ist erstmal egal.

Also im Prinzip, man guckt sich, was die Grundprozesse sind, also wie so ein Planet sich entwickelt nach der Entstehung bis zum heutigen Zeitpunkt.

Im Prinzip, also man braucht die Parameter letztendlich für diese Simulationen.

Je nach Planet kann man diese Parameter dann eingeben und dann lässt man letztendlich diese Computermodelle laufen und vergleicht man dann die Ergebnisse, die man bekommt aus den Computermodellen mit was man kennt von der Oberfläche zum Beispiel.

Nehmen wir Mars als Beispiel.

Man hat auf Mars geguckt, wann vulkanische Aktivität stattgefunden hat.

Das heißt, unsere Modelle müssen tatsächlich das reproduzieren können sozusagen.

Können die das?

Ja, das können sie.

Also es ist tatsächlich so, wir gucken uns an, eben solche Prozesse wie vulkanische Aktivität, also wann schmilzt Material im Inneren von den Planeten, wann wird die Kruste gebildet, entsteht Magnetfeld, wenn ja, für wie lange ist dieser Magnetfeld aktiv und so weiter und so fort.

Sind die Grundprozesse in terrestrischen Planeten immer identisch?

Die sind ähnlich.

Es ist im Prinzip das Gleiche, die gleiche Physik.

Es sind nur die Parameter, die halt anders sind.

Also wie gesagt, die Erde hat einen deutlich dickeren Gesteinsmantel als zum Beispiel der Merkur.

Der Merkur hat einen sehr, sehr dünnen Gesteinsmantel und das beeinflusst letztendlich auch die Art und Weise oder wie effizient die Wärme dann transportiert wird.

Also in der Erde hat man viel stärkere Bewegungen sozusagen.

Also diese Bewegungen sind immer noch sehr, sehr langsam.

Also es passieren auf Millionen, Milliarden von Jahren und es ist diese Umwälzung vom Material im Inneren, wodurch die Wärme dann transportiert wird.

Und das ist halt für einen großen Gesteinsmantel, das ist dann effizienter als für einen relativ kleinen Gesteinsmantel wie der Merkur.

Das heißt der Merkur bewegt sich nicht?

Er ist komplett durchgehärtet?

Es ist nicht klar.

Also es gibt Computermodelle, die sowohl ein heute sozusagen ein beweglicher Mantel, also das spricht man von Mantelkonvektion, also dieser Prozess, wo der Mantel sich umwälzt oder das Material im Mantel sich umwälzt, das heißt Konvektion.

Ja und es gibt tatsächlich Computermodelle, die das heute noch ein konvektierender oder sich bewegenden Mantel im Merkur vorhersagen.

Aber es gibt genauso, je nach Parameter kann es sein, dass diese diese Konvektion nicht mehr stattfindet und dass die Wärme dann per Wärmeleitung raus transportiert wird.

So wenn es zwei verschiedene Modelle gibt, wäre das einfachste ja mal hinaufzufliegen und zu gucken, wie es denn wirklich ist?

Genau, nur allerdings ist es sehr, sehr schwer tatsächlich im Inneren von einem Planet zu gucken.

Also es gibt...

Bei der Enterprise, die können das immer, die haben dann so coole Sensoren, wo die von außen dann durch die Oberfläche gucken können, das geht gar nicht.

Naja, es ist schwierig, also es gibt ein paar Methoden, wie zum Beispiel die Seismologie, ist eigentlich das Beste, was man machen kann, dass man im Inneren von Planeten reinschaut.

Allerdings, wenn man sich heute anguckt, wir haben ein großes seismisches Netzwerk auf der Erde und wir haben ein seismisches Netzwerk gehabt auf dem Mond durch die Apollo Mission, aber das sind dann letztendlich auch die einzigen

terrestrischen Körper, worauf wir ein seismisches Netzwerk aufgebaut haben.

Wobei man muss noch erwähnen, es gab Seismometer auf die Viking Mission, das waren zwei Mars-Missionen, also zwei Viking Länder sozusagen, Viking I und Viking II, die hatten tatsächlich jeweils ein Seismometer an Bord gehabt.

Allerdings bei den Viking I hat der Seismometer gar nicht funktioniert, erst.

Und bei den Viking II, das Problem bei den Seismometer ist halt, die sind sehr empfindlich und die sind sehr empfindlich gegenüber allen möglichen Störungen, sei es Wind, sei es irgendwelche Erschütterungen, die sind sehr, sehr empfindlich.

Und bei den Viking Länder waren tatsächlich die Seismometer auf dem Deck aufgebracht und deshalb haben sie auch sehr viele Störungen mitgekriegt von dem Wind, von der Atmosphäre auf dem Mars.

Und das ist sehr schwierig, in den Daten dann tatsächlich eindeutig ein Event zu beschreiben.

Eben, das hätte ich jetzt auch gewusst.

Woher weiß der Seismometer denn überhaupt, dass das jetzt Konvektion ist, die da im Planeten stattfindet und nicht irgendwie gerade Kilometer weiter irgendwo was einschlägt?

Genau, der Seismometer an sich, der weiß erstmal nicht über Konvektion.

Also Konvektion wäre eine Möglichkeit, womit man, also so eine Art Quelle von seismischen Events sozusagen, ja, also kann man sich vorstellen, gibt mehrere Möglichkeiten, womit man ein Erdbeben, Marsbeben, Mondbeben auslöst und einer davon ist tatsächlich so Einschläge.

Also das kann tatsächlich passieren.

Andere Quellen wären, wenn tatsächlich Stresse aufgebaut werden.

Also der Planet, der kühlt, ja, und dann, da er Wärme verliert und er kühlt, dann schrumpft er auch leicht.

Und dann entstehen Stresse.

Und bei dieser Schrumpfung sozusagen von den Planeten, diese Stresse werden dann freigesetzt und dann entstehen wieder Erschütterungen.

Und eine dritte Möglichkeit wäre eben, wenn man im Inneren so einen starken Aufstrom, einen Mantelblumen sozusagen, der Wärme vom Kernmantelgrenze Richtung Oberfläche transportiert, der gegen die Lithosphäre dann trifft.

Und dann können auch wieder Erschütterungen entstehen.

Ja, also solche, solche seismische Quellen könnte man haben.

Auf der Erde ist natürlich auch die Platen tektonik eine der größten seismischen Quellen.

Also wenn Platen tatsächlich gegeneinander aufstoßen und subduzieren, da entstehen auch Erdbeben.

Haben wir Platen tektonik auch auf den anderen Planeten?

Nee.

Sicher?

Tatsächlich ist die Erde... Also wir fliegen ja anscheinend nicht oft genug hin und gucken nach.

Ja, ja.

Also es ist so, normalerweise, also wenn man auf die Erde guckt, dann ist die Oberfläche extrem jung.

Ja, man hat die Platten tektonik, die ständig die Oberfläche erneuert.

Und wenn Platten, also Platten subduzieren, die werden wieder im Mantel abgetaucht, andere Platten bzw. neues Material entsteht an den mittelozeanischen Rücken.

Und die Oberfläche ist extrem, extrem neu.

Bei den anderen Planeten und auch bei dem Mond, die, die, man sieht sehr alte Oberflächen.

Also diese Oberflächen sind über die Zeit geblieben.

Die haben sich nicht verändert.

Es gibt Oberflächen, die sich durch Vulkanismus zum Beispiel, also wenn ein Vulkanmaterial ausspuckt, dann wird das die Oberfläche abdecken und so weiter und so fort.

Aber es gibt kein Einzeichen von ehemaligen Platten tektonik.

Es gab mal eine Theorie, dass es vielleicht auch Mars-Platten tektonik früher gegeben hat, aber es gibt keine eindeutige Nachweise, dass es tatsächlich stattgefunden hat.

Auf der Venus ist aber eine andere Geschichte.

Also die Oberfläche von Venus ist sehr, sehr jung.

Man sieht sehr wenig Krater und man vermutet, dass es ein Event, also nicht wirklich Plattentektonik, aber irgendein Ereignis, wodurch sich die Oberfläche erneuert hat.

Es gibt zwei Ansichten.

Die eine Ansicht, dass es ein katastrophales Ereignis gegeben hat, wodurch die Oberfläche sich komplett erneuert hat in sehr kurzer Zeit.

Also Abagaddon, so riesiger... Genau, dass irgendwie durch, sagen wir mal, alle Vulkane auf der Venus gleichzeitig ausgebrochen sind.

Möglicherweise sogar von innen eine Explosion gab.

Genau, so eine Art Erneuerung der Oberfläche durch starke vulkanische Aktivität.

Durch einfach, sehr oft Material wurde dann umgewälzt, also Oberflächenmaterial wurde umgewälzt.

Die andere Ansicht ist, dass es tatsächlich nach und nach passiert, dass es nicht ein großes Event gegeben hat, sondern dass es nach und nach die Oberfläche sich erneuert.

Und es ist tatsächlich nicht geklärt, welche von den beiden Theorien die richtige ist, sozusagen.

Abgesehen davon, dass man es ja immer rechtfertigen muss, auch da hin zu fliegen und irgendwelche Sonden abzuwerfen und so.

Warum fliegen wir da nicht hin und gucken nach?

Ist das nicht interessant genug?

Doch, eigentlich schon.

Doch, doch.

Und es gab die Venus Express Mission, die eine europäische Mission, die sich dann letztendlich auch angeguckt, wie die Atmosphäre von Venus, aber auch hat versucht, ein bisschen zu gucken, ob man Anzeichen sieht von aktivem Vulkanismus heute.

Das wäre auch ein Hinweis, dass Venus extrem aktiv wäre.

Und es ist aber sehr, sehr schwierig.

Also Venus hat eine sehr dicke Wolkendecke und dann kann man nur durch Radar durchkommen und gucken.

Es gibt immer noch Überlegungen zu Missionen, die man zu Venus schickt und das noch mal genauer nachguckt.

Aber normalerweise bei so einer Mission ist es ein sehr langwieriger Prozess, von der Idee bis zur Auswahl und dann tatsächlich hinfliegen zu den Planeten.

Was macht diesen Prozess so langwierig?

Naja, man muss erstmal... Also wir haben ja jetzt die Idee, das heißt... Genau, das muss man sehr gut begründen.

Also man muss eine Art Studie machen, beziehungsweise auch die Punkte richtig aufschreiben, was möchte man auf dieser Mission untersuchen.

Wenn man soweit ist, dann würde man das einreichen und dann kriegt man einen Wettbewerb mit anderen Ideen.

Also es ist nicht nur... Stimmt, man ist ja nicht der Einzige, der die Idee hat.

Genau.

Und dann muss man gut argumentieren können und auch viel Glück haben, dass dann zum Ende dann ausgewählt wird.

Woher kommt eigentlich der Mond?

Weiß man das eigentlich genau?

Es gibt da auch verschiedene Theorien.

Allerdings die gängigste Theorie ist, dass der Mond tatsächlich durch einen großen Einschlag in der Frühgeschichte der Erde sich geformt hat.

Also ein Mars großen Körper ist mit der Erde kollidiert und aus dem Materialauswurf sozusagen hat sich der Mond geformt.

Es gibt andere Theorien, die vielleicht sagen, dass Erde und Mond sich gleichzeitig geformt haben, als die Erde, also aus der Akkretionsscheibe sozusagen.

Was für eine Scheibe?

Eine Akkretionsscheibe.

Also das ist der Staub und Partikel, die am Anfang der Sonnensysteme als die ersten Planeten sich geformt haben.

Dann wäre die Idee, dass sie sich gleichzeitig gebildet haben.

Allerdings, wie gesagt, die eingängigste Theorie ist tatsächlich, dass einen großen Einschlag gegeben hat und dann daraus sich der Mond geformt hat.

Warum ist ausgerechnet das die plausibelste Theorie?

Vor allem, weil letztendlich der Mond und die Erde, die haben sehr ähnliche chemische Zusammensetzung.

Und vor allem, weil auch als ein Impaktor mit der Erde kollidiert ist, also der Mond hat auch einen Eisenkern.

Und das würde auch erklären, warum der Mond auch letztendlich den Eisenkern hat.

Und das würde auch erklären, warum bei dem Mond diese Art Magma, also bei dem Mond, wir haben ja diese Magma-Ozean, dass es am Anfang immer stattgefunden hat.

Also dass am Anfang so ein Magma-Ozean vorhanden war, eben durch die große Temperatur, die vorhanden ist.

Und als der Mond kristallisiert hat, sieht man an der Oberfläche also die Kruste, die helle Kruste auf dem Mond, die besteht aus Felsspaten.

Das ist ein Gestein, der bei so die Auskristallisierung des Magma-Ozean entsteht.

Wenn du dann Computermodelle, also Daten in die Computermodelle, machst du das für jeden Planeten oder auch für den Mond?

Und auch für jeden Mond, weil die haben ja auch noch Monde, die Planeten.

Ja, also im Prinzip bei diesen Computermodellen, man geht davon aus, dass die Physik die gleiche ist.

Also die Physik für alle dreistelligen Planeten ist die gleiche.

Man hat unterschiedliche Parameter.

Also wie gesagt, dass die Erde eben einen großen Gesteinsmantel hat, das Mars kleiner ist als die Erde.

Also Mars ist ungefähr die Hälfte im Radius als der Radius der Erde.

Und das muss man als Parameter mit einspeisen in dem Computermodell.

Und dann kann man das letztendlich, das Computermodell laufen lassen für verschiedene Szenarien, verschiedene Planeten sozusagen.

Was sind dann die Erkenntnisse, die ihr da rauszieht?

Also vor allem wir nutzen Missionsdaten, also Daten, die von verschiedenen Missionen zurückgewohnt sind, um unsere Computermodelle besser zu machen, also zu verfeinern.

Weil wir haben ja natürlich Unsicherheiten in unseren Parametern und wir müssen dann letztendlich das beste Modell auswählen, das am besten die Entwicklung von einem Planeten erklärt.

Und das kann man machen, indem man sich eine große Menge an Daten anguckt.

Also was haben wir, was ist die Zeit, in der sich die Kruste gebildet hat, wie viel Vulkanismus hat man gehabt auf dem Planeten, hat man Plattentektonik, hat man keine Plattentektonik, hat man ein Magnetfeld und so weiter und so fort.

Und alle diese Beobachtungen können wir dann nutzen, sodass wir unsere Modelle verfeinern können, besser machen können.

Und dann können wir natürlich unsere Modelle auch dafür nutzen, dass wir Voraussagen machen können.

Also zum Beispiel bei der nächsten Mission, dass wir sagen können, okay, das

wäre ein Bereich, das von großem Interesse wäre oder das wäre vielleicht interessant, mal dorthin zu fliegen und zu gucken, wie die Prozesse funktionieren.

Was macht denn einen Bereich auf einem Planeten interessanter als den anderen Bereich?

Naja, es kommt drauf an.

Also es kann sein, dass zum Beispiel in einem Bereich, sagen wir mal... Also du machst das ja für den Mars gerade, ne?

Genau, ja.

Also das meiste, was du machst, machst du für den Mars.

Genau.

Und bist du in der Lage zu sagen, wo wir die nächste Mission landen lassen sollten und das nächste komische Auto rumfahren lassen sollten?

Naja, also muss man ein bisschen gucken, was genau die Fragestellungen sind, also was wir uns genau anschauen möchten.

Also sagen wir mal, was wäre der Bereich, wo es am interessantesten wäre aufgrund von so rezenten Vulkanismus.

Da kann man sich auf die Oberfläche auch angucken, was... Was kann man sich da... Rezenten-Vulkanismus.

Rezenten-Vulkanismus?

Ja, junger Vulkanismus.

Also was vor kurzem passiert.

Also da kann man sich halt... Wenn Leute wie du vor kurzem sagen, was genau meinst du dann in Zeitreihen?

Ja, genau.

Also vor kurzem heißt es letztendlich ein paar Millionen oder zehner Millionen Jahre alt.

Genau.

Also das kann man sich aufgrund von geologischen Daten zum Beispiel angucken.

Also das sind die großen, die zwei großen vulkanischen Provinzen auf dem Mars.

Das ist der Elysium- und Tharsis-Provinz.

Und da kann man zum Beispiel gucken, also da gibt es Arbeiten dazu, wo man mit Hilfe von Kraterzählungen die Alter bestimmt hat von verschiedenen Lavafüssen.

Und dann hat man dann zum Beispiel entdeckt, da wäre das Alter sozusagen im Bereich von zehner, vielleicht weniger Millionen Jahren.

Und dann kann man mit unserem Modell gucken, okay, kriegen wir dorthin so einen Aufstrom, einen heißen Aufstrom, was dafür zum Beispiel sorgen würde, dass der Bereich vulkanisch aktiv wäre.

Und solche Sachen.

Also zum Beispiel auch was wir uns angucken, sind Wärmeflusskarten.

Also Wärmefluss ist letztendlich, wie der Planet seine Wärme verliert, ja, über die Oberfläche.

Also ist es einfach mit einer Wärmebildkamera drauf gucken?

Oder wie macht man das?

Nicht ganz.

Also es ist nicht so wie, wenn der Energieberater kommt und das Haus abfilmt?

Naja, also es ist ein bisschen komplizierter als das.

Wenn man das tatsächlich messen möchte, also aus unseren, also aus Computermodellen ist es relativ einfach.

Wir lassen unseren Computermodell offen lassen und dann gucken, wie eben die Temperaturen, wie die Leichtfähigkeit, also wie die Wärme geleitet werden kann.

Und dann können wir uns sozusagen Karten von eben Bereichen mit verschiedenen, also dann gucken wir uns an Bereiche, wo wir den Wärmefluss abschätzen können zum Beispiel.

Tatsächlich zu messen, das wird die InSight-Mission tun.

Das ist eine Mars-Mission, die Anfang des Jahres gestartet ist, am 5.

Mai und kommt an am 26.

November.

Und diese Mission hat an Bord eine Wärmeflusssonde.

Also das ist ein kleiner Penetrator sozusagen.

Das ist ein Instrument, was auf der Oberfläche aufgesetzt wird mit einem robotischen Arm.

Und dann hat man innen drin so einen Hämmermechanismus.

Das ist so ein, hat einen Mechanismus, womit er sich dann in den Untergrund reinhämmernd und zieht nach sich so eine Band mit Sensoren drauf.

Wie tief hämmert er sich denn dann da rein?

Bis zu 5 Meter.

5 Meter wären dann die tiefste Bohrung oder beziehungsweise Hämmerung auf einem anderen Planeten.

Bei den Apollo-Missionen hat man auch solche Experimente gemacht.

Allerdings war nichts robotisch, sondern tatsächlich von den Astronauten durchgeführt.

Und da glaube ich, haben sie drei Meter tief die Sonde in den Boden eingesteckt, sodass man tatsächlich den Wärmefluss messen kann, also wie der Planet der Wärme verliert.

Und das muss man tatsächlich machen, weil wenn man zu nah an der Oberfläche ist, dann hat man Störungen durch die Temperaturvariation, die an der Oberfläche sind.

Also dadurch das... Strahlung irgendwie.

Genau, also im Prinzip Tag, Nacht auch.

Tag, Nacht und auch die Jahreszeiten.

Und dementsprechend möchte man schon in eine Tiefe gehen, wo diese Störungen nicht mehr vorhanden sind, dass man den richtigen Wärmefluss misst.

Wenn man dann den Wärmefluss des Planeten kennt, hat man da irgendetwas?

Das ist die ewige Grundlagenforschungsfrage natürlich.

Außer zu wissen, wie dann der Wärmefluss des Planeten ist.

Es ist eigentlich ein sehr wichtiger Punkt oder sehr wichtigen... Das sind sehr wichtige Daten für uns, weil im Prinzip dann wissen wir erstens, wenn wir wissen, wie der Planet abkühlt, dann wissen wir auch, können wir auch Einschränkungen setzen für die Menge an Wärme, was im Inneren von dem Planeten drin ist.

Also je wärmer der Planet, desto mehr Wärme kann er über die Oberfläche verlieren und so weiter und so fort.

Und dann kann man eben solche Einschränkungen setzen, was letztendlich die Zusammensetzung auch einschränkt.

Also wie der Planet, aus welchem Material hat sich der Planet dann geformt.

Und dann kann man letztendlich gucken, wie viel Wärme hat der Planet am Anfang seiner Evolution dann gehabt und dann eben unsere Modelle, unsere Computermodelle dann nutzen, um eben zu gucken, wie die Entwicklung dann funktioniert hat.

Reicht das denn an einer Stelle, fünf Meter tief zu bohren oder zu hämmern, um zu wissen, wie der Wärmefluss eines ganzen Planeten ist?

Ja, also tatsächlich auf der Erde haben wir sehr viele Wärmeflussmessungen.

Und auf der Erde variiert der Wärmefluss auch sehr, sehr stark durch die

Platentektonik letztendlich.

Auf dem Mars dadurch, dass es keine Platentektonik gibt, sind die Variationen etwas schwächer.

Allerdings man hat natürlich auch in Vulkangebieten oder wo die Kruste sehr dick ist, einen viel größeren Beitrag zum Wärmefluss.

Wir haben tatsächlich unsere Modelle dann angewendet, um zu gucken, tatsächlich diese Frage, reicht das an einer Stelle zu messen, wie weit weg sind wir über einen globalen repräsentativen Wert?

Und es ist tatsächlich, die Landestelle von Inside passt ganz gut.

Wir erwarten, dass der Wärmefluss, was von Inside kommt, von der HP3, also die Heat Flow and Physical Properties Package, so heißt das Instrument, dass der Wert, der kommt, der sehr nah an dem mittleren Wert sein wird.

Du sagtest ja Platentektonik.

Gibt es auf den anderen Planeten keine Platentektonik oder gab es da auch nie welche?

Für Venus zum Beispiel wissen wir nicht.

Die Oberfläche ist sehr jung und wir wissen nicht, wie es in der Vergangenheit ausgesehen hat.

Wir wissen auch nicht auf der Erde, ob die Platentektonik, die wir heute haben, ob die ähnlich war in der Vergangenheit.

Da haben wir auch, dadurch dass die Oberfläche sehr jung ist, haben wir auch keine Proben, keine Anzeichen dafür.

Bei den anderen Planeten, bei der Mars gab es mal Überlegungen, dass es vielleicht in der frühen Entwicklung sowas gegeben hat, aber es gibt keine konkrete Hinweise und auch die thermische Evolution, also die Modelle, die wir machen, die passen, die können sehr gut die Beobachtungen erklären, ohne dass man diese frühe Episode an Platten tektonik hat.

Und bei Merkur und Mond, das sind tatsächlich ein Plattenplaneten, genauso wie Mars letztendlich und auch wie die Venus.

Wenn du immer wieder sagst, über die Venus wissen wir einfach viel zu wenig, was müssten wir da hinfliegen oder was müssten wir da hinschicken, damit ihr ordentliche Modelle fahren könntet?

Naja, also auf jeden Fall bessere Radarmessungen, also dass man tatsächlich die Verformung der Oberfläche besser analysieren kann.

Auch Spektrometer, dass man auch ein besseres Verständnis hat über die Beschaffenheit der Oberfläche, welche Gesteine können wir dann erwarten und im Prinzip gucken, ob man einschränken kann, ob heute noch aktives Vulkanismus ist, also im Prinzip, ob man junge Oberflächen beobachten kann auf der Venus, das wäre schon mal ein Wünschenswert.

Also man hat das schon mit der Venus Express Mission gemacht und hat man auch Bereiche identifiziert, wo sehr junge Lavaflüsse vorhanden sind und das kann man tatsächlich nochmal mit einer Folgemission anschauen.

So ein Spektrometer, das muss dann aber landen, ne?

Das fliegt dann da nicht rum und guckt oder ist das ein Verhaltens?

Das geht auch im Orbit, muss für Venus in Infrarot funktionieren.

Es muss nicht unbedingt landen.

Bei der Venus sind sowieso Landebedingungen sehr schwierig, weil die Temperatur am Boden bzw. die Oberflächentemperatur ist sehr, sehr hoch und das heißt, die Instrumente müssen dafür ausgelegt sein, dass sie das auch überleben.

Es gab tatsächlich Landungen auf der Venus in den, ich glaube in den 70ern oder ja, 70ern, glaube ich, die Venera-Proben, die russischen Missionen, die tatsächlich auf der Oberfläche gelandet sind, allerdings nicht sehr lange überlebt haben.

Ich glaube, das Längste hat vielleicht mal zwei Stunden überlebt, aber nicht länger als das.

Wie macht so ein Spektrometer das, zu erkennen, was für ein Gestein da liegt?

Na ja, im Prinzip, man muss sich angucken, das Spektrum, was von dem Gestein reflektiert wird sozusagen.

Es gibt ja verschiedene Minerale, reflektieren natürlich einen anderen Spektrum zurück und dadurch kann man das machen.

Auf der Erde gibt es ja Labore, womit man dann verschiedene Minerale an verschiedenen Bedingungen testet, eben mit solchen, also man erstellt eine Spektraldatenbank, sodass man schon mal weiß, was man erwarten würde, wenn man tatsächlich auf die anderen Planeten sowas messen würde.

Und dann kann man die Messungen mit der Datenbank vergleichen und dann gucken, was könnte das sein.

Im DLM, im Institut für Planetenforschung, gibt es bei uns auch eine Gruppe, die sich genau damit beschäftigt, also wirklich solche Messungen durchzuführen unter Bedingungen, die man erwarten würde auf andere Planeten.

Und dann gucken, so eine Spektraldatenbank herzustellen, also das ist die

Gruppe, die von John Halpert angeführt wird.

Und was erkennst du, wenn du die Oberflächenverformung anguckst?

Zum Beispiel ein Vulkan wäre auch eine Oberflächenverformung.

Auch ein Graben oder ein Einschnitt sozusagen, das sind auch Oberflächenverformungen.

Das passiert letztendlich auch im spektronischen Aktivität.

Also ich hatte jetzt gedacht, Oberflächenverformungen die ganze Zeit, dass das so wabert.

Naja, also im Prinzip, letztendlich wie die Oberfläche sich verformt, das gibt Hinweise für die Prozesse, die im Inneren auch tatsächlich stattfinden.

Also wenn, wie gesagt, wenn Schmelze produziert wird, diese Schmelze steigt auf und erzeugt dadurch Vulkanismus und wird auf der Oberfläche statt und formt neue Kruste sozusagen.

Es gibt ja auch tektonische Strukturen, vor allem auf dem Merkur kann man das ganz gut sehen, da gibt es so Falten sozusagen, dadurch dass der Merkur sehr stark abgekühlt ist, dann schrumpft das Planet und dann entstehen solche Falten an der Oberfläche.

Und das gibt es natürlich auch, die geben natürlich auch wiederum Hinweise, wie stark so ein Planet abkühlt.

Bist du in der Lage, das auch für Exoplaneten zu machen, von denen wir praktisch nichts anderes haben als ein bisschen Licht?

Naja, für die Exoplaneten, was man vor allem hat, sind Masse und Radius.

Und das ist schon mal ein guter Indikator, ob das Planet ein Gesteinsplanet ist oder ein Gasplanet.

Ach.

Genau, also wenn man Masse und Radius hat, kann man die Dichte bestimmen und dann kann man sagen, ob es sich um ein Gesteinsplanet oder um ein Gasplanet handelt.

Wenn andere Messungen dazukommen, wie zum Beispiel Atmosphärenspektren, dann könnte man, hat man noch mehr Daten, was man in unsere Modelle einspeisen kann zum Beispiel.

Erlebst du in deinem Arbeitsalltag eigentlich auch Überraschungen?

Also so, ich werfe jetzt mal meine Simulation an und gucke mal auf den Mars aus welchen Gründen auch immer und plötzlich stellst du fest, huh, der Mars ist ganz anders oder irgendwie sowas.

Ja, ja.

Passiert sowas?

Es ist vor allem, wenn Daten reinkommen von den Missionen und dann sieht man plötzlich, ah, okay, das ist sehr interessant, können wir das mit unserer Simulation nachstellen, können wir das mit unserer Simulation erklären.

Im Prinzip jedes Mal, wenn man eine Mission zu einem Planeten schickt, dann hat man die Fragestellungen, dann sieht man, also es ist immer wieder spannend, die Antworten zu sehen, ob das tatsächlich, kann man sich vorstellen, man hat eine Theorie, eine Hypothese aufgestellt, kann man diese Hypothese dann bestätigen oder widerlegen.

Seid ihr denn dann auch diejenigen, die in diese Missionen reinquatschen

dürfen?

Also dürft ihr euch da was wünschen oder seid ihr eher so die, die da sitzen und warten, dass irgendwelche Daten kommen, die sowieso erhoben werden und freut euch dann letztendlich über die Krümel, die dann sozusagen abfallen?

Es gibt ja die Missionsdefinitionsstudien, das ist ganz am Anfang, wo man sich dann erstmal überlegt, okay, was ist interessant, was müssen wir unbedingt wissen über diesen Körper oder jeden Körper und das sind die Missionsdefinitionsstudien und da muss man die Fragestellungen formulieren und da sind wir auch mit involviert.

Wie sieht denn dein Arbeitsalltag überhaupt aus?

Ja, sehr viel am Computer machen, wie eben gesagt, ich mache Computermodelle und dementsprechend bin ich auch sehr viel am Computer.

Natürlich Meetings, also Ops mit Kollegen, aber auch sozusagen Telekonferenzen, also sozusagen mit Kollegen, die nicht unbedingt im Institut sind.

Also man hat sehr viele Kollegen, die überall auf der Welt sind und dann trifft man sich eben, um wissenschaftliche Fragestellungen zu diskutieren.

Im Prinzip, das ist so im großen Ganzen, was man macht.

Und auf jeden Fall auf Konferenzen fahren, also das ist auch ein sehr wichtiger Punkt, weil man stellt dort seine Arbeit vor und man erklärt der wissenschaftliche Community sozusagen, was man herausgefunden hat.

Man kann diskutieren und natürlich auch viele neue Ideen kriegen für die eigene Arbeit.

Und dann auch noch Public Outreach sozusagen, das ist auch sehr, sehr wichtig

für uns.

Also sowas wie hier heute haben.

Genau.

Was erzählst du denn den Leuten in der Kneipe, wenn die dich fragen, was machst du denn eigentlich so?

Ja, ich schaue mir die Entwicklung von Körper in unserem Sonnensystem.

Also ich versuche in unserer Arbeit, es ist sehr wichtig, die Erde in Relation zu setzen mit den anderen Körpern im Sonnensystem, zu verstehen, also dadurch, dass wir uns andere Körper im Sonnensystem angucken, zu verstehen, wie sich die Erde dann entwickelt hat aufgrund von den Vergleichen.

Und auch natürlich die große Frage ist, gibt es eine zweite Erde da draußen?

Und wie ist das Leben auf der Erde, wie ist das auf der Erde entstanden, ist es zur Erde gekommen?

Ja, das sind die großen Fragestellungen, die wir uns setzen.

Ja, und ich frage dich, gibt es eine zweite Erde da draußen?

Also wenn man sich anguckt, wie viele andere Sonnensysteme gibt es.

Ich würde sagen, es ist eher unwahrscheinlich, dass es keine gibt.

Es ist allerdings aber auch sehr schwer, so einen Planet zu finden, weil es ist relativ klein, wenn man sich die Erde in unserem Sonnensystem anguckt.

Das sind erstmal große Planeten wie Jupiter und Saturn, die werden auch viel öfter detektiert, so zu sagen.

Weil die sind einfach groß.

Gasballons.

Genau, das liegt an den Detektionsmethoden.

Also man guckt sich mit verschiedenen Methoden an und versucht, Planeten zu entdecken.

Und diese Methoden, wie gesagt, sind sehr empfindlich für eher größere Planeten.

Aber mittlerweile, glaube ich, gehen wir schon in die Richtung von erdgroßen Planeten.

Das ist die PLATO-Mission, die in 2026 startet.

Die wird sich das ganz genau unter die Lupe nehmen.

Erst 2026?

Genau.

Warum brauchen die so lange?

Also wofür brauchen die so lange?

Es wird erstmal, muss man erstmal die Mission entwickeln.

Also man muss die Instrumente entwickeln, man muss die Kameras entwickeln und so weiter und so fort.

Dann muss man die, also das dauert.

Man muss, man möchte auch sicher sein, wenn man die Instrumente entwickelt hat, also für jede Mission, wenn man die Instrumente entwickelt hat, dass sie dann am Ende auch funktionieren.

Und das ist halt verbunden mit sehr viel Entwicklungszeit, auch Testen und dass man am Ende tatsächlich eine funktionierende Mission hat.

Und das dauert genau.

Also das, man muss, wie gesagt, sehr genau testen, alles qualifizieren, so dass man die besten Ergebnisse am Ende kriegt.

Wenn wir eine zweite Erde finden würden, wärt ihr die, die die findet?

Oder sind das irgendwelche anderen Forscher?

Also du weißt doch, wie man Plattentektonik erkennt, das meine ich so.

Ja, ob man tatsächlich Plattentektonik erkennen würde auf einer zweiten Erde, das ist ein bisschen fraglich.

Also das ist mit einer zweiten Erde, was man meint, es ist halt ein Planet, der die Größe, also den Radius ähnlich zur Erde hat, die Masse ähnlich zur Erde und in der sogenannten Habitable Zone sich befindet.

Das warm und feucht ist.

Genau, also in dem richtigen Abstand vom Stern, wo jetzt flüssiges Wasser auf der Oberfläche sich befindet.

Ja, und bei solchen Missionen, die eben auf der Suche nach Exoplaneten, aber auch andere Missionen, also im Prinzip bei allen Missionen, das ist sozusagen ein kollektives Effort.

Also es ist nicht nur eine Space Agency, die sich damit beschäftigt, sondern es gibt ja Beiträge von verschiedenen Instituten, von verschiedenen Ländern.

Müsste eine zweite Erde Plattentektonik haben, um so bewohnbar zu sein wie unser Planet?

Es ist eigentlich eine gute Frage.

Also man weiß es nicht, ob die Plattentektonik unbedingt notwendig ist fürs Leben.

Aber man vermutet, weil vor allem durch die Plattentektonik, man hat eine Regularisierung der Klima sozusagen.

Also man kann durch die Plattentektonik zum Beispiel Karbonate wieder zurückführen in der Mantel.

Also das sind Gesteine, die sich durch Verwitterung bilden und dadurch nimmt man CO₂ aus der Atmosphäre raus.

Und dann entsteht so ein Zyklus, ein Carbon-Silicate-Cycle nennt man das.

Und dieser Zyklus stabilisiert letztendlich die Klima auf der Erde.

Dann hat man nicht das Problem wie zum Beispiel auf dem Venus, dass so ein Treibhauseffekt entsteht.

Also so ein Tardow-Effekt.

Genau.

Und außerdem auch, dass die Plattentektonik den Inneren kühlt, das ist auch wieder förderlich für ein Dynamo.

Also wenn der Mantel gekühlt wird, und das ist dann förderlich für den Kern, dass der Kern wieder konvektiert und eben ein Dynamo erzeugt.

Und das ist auch wiederum die Plattentektonik, macht das leichter.

Das heißt die Plattentektonik ist verantwortlich für unser Magnetfeld?

Es ist auf jeden Fall einfacher mit Plattentektonik ein Magnetfeld zu erhalten, als ohne Plattentektonik.

Wonach müsste man denn gucken, wenn man eine zweite Erde sucht, um rauszufinden, ob das tatsächlich so ein bewohnbares Ding ist?

Aber nur in der habitablen Zone rumzuhängen, das reicht ja wahrscheinlich nicht.

Oder ist es automatisch, wenn ein Planet in der habitablen Zone ist, ist dann da auch automatisch Wasser drauf?

Also das ist die Definition der habitablen Zone.

Ob tatsächlich Wasser drauf ist, das hängt natürlich von anderen Bedingungen, hängt natürlich auch von der Zusammensetzung und wie viel Wasser am Anfang überhaupt vorhanden war und so weiter und so fort, also als der Planet sich geformt hat.

Aber eine notwendige Bedingung wäre, dass der Planet in dieser habitablen Zone sich befindet.

Um nochmal zurückzukommen zu dem Magnetfeld.

Also es gibt zum Beispiel Magnetfeld auf Merkur.

Also Merkur hat auch einen schwachen Magnetfeld, aber hat heute ein

Magnetfeld.

Und Merkur hat keine Plattentektonik.

Also es ist nicht unbedingt notwendig, dass man Plattentektonik hat, dass ein Magnetfeld entsteht.

Es macht es vielleicht ein bisschen leichter, aber es gibt verschiedene Prozesse, wodurch man ein Magnetfeld ansteuert.

Ich wollte gerade fragen, wo hat Merkur denn das Magnetfeld her?

Also bei dem Merkur, es kann tatsächlich sein, dass der Kern ausfriert.

Also der Kern ist flüssig am Anfang.

Und mit der Zeit, wenn der Planet kühlt, dann kann der Kern anfangen auszufrieren.

Und was am Anfang ausfriert, ist natürlich Eisen.

Also der Kern besteht nicht nur aus Eisen, sondern hat auch andere leichtere Elemente wie zum Beispiel Schwefel.

Und was passiert?

Eisen kristallisiert und Schwefel wird angereichert oder die Konzentration von Schwefel wird mehr in der flüssigen Phase.

Und wenn der Schwefel sozusagen angereichert wird, der ist leichter und dann kann er nach oben steigen, wenn der Kern von innen nach außen ausfriert.

Und er kann nach oben steigen.

Dadurch entstehen wiederum solche Bewegungen.

Aber warum sollte er von innen nach außen ausfrieren?

Ist es nicht innen drin wesentlich?

Es hängt von dem Druck.

Also die Schmelzkurve von Eisen-Schwefel-Gemisch hängt natürlich auch von dem Druck im Kern.

Also bei der Erde zum Beispiel ist es so, der Kern friert von innen nach außen.

Während bei anderen Planeten, die vielleicht einen niedrigeren Druck haben an der Kernmantelgrenze, kann es auch sein, dass der Frierungsprozess von außen nach innen anfängt.

Oder es kann auch eine verrückte Kombination sein, dass es beide gleichzeitig passiert.

Zum Beispiel dieser von außen nach innen, das ist auch als Eisenschnee-Regime, also der Eisen kristallisiert an der Kernmantelgrenze, ist schwerer und sinkt Richtung Kernzentrum.

Und dadurch entstehen auch wiederum diese Konvektionsbewegungen, die notwendig sind, um ein Magnetfeld anzutreiben.

Und das ist zum Beispiel bei dem Ganymed, da denkt man, dass genau diese Art von Ausfrierung passiert.

Ganymed ist ein Mond von wem?

Ein Mond von Jupiter.

Das ist eigentlich der größte Mond im Sonnensystem.

Ist sogar größer als Merkur.

Da war noch eine Frage vorhin übrig.

Wie ist das Leben entstanden?

Ja, gute Frage.

Ja, man weiß es nicht.

Man weiß es tatsächlich nicht, wie das Leben entstanden ist.

Wir reden immer vom Leben, so wie wir von der Erde kennen.

Also wenn wir von einer habitablen Zone, wir reden immer von Leben, das Wasser als Prerequisite, also weil das Wasser benötigt, um überhaupt zu überleben oder zu entstehen.

Aber wir wissen nicht, ob es vielleicht andere Arten von Leben möglich wären.

Kümmerst du dich eigentlich auch um Gasplaneten?

Also sind das Sachen, die eure Modelle auch kümmern?

Nein, nicht wirklich.

Also unsere Modelle sind tatsächlich auf Gesteinsplaneten ausgelegt, sozusagen.

Für Gasplaneten bräuchte man eine deutlich andere gleiche mathematische Formulierung als was wir für unsere Modelle nutzen.

Sind Gesteinsplaneten interessanter als Gasplaneten?

Alleine schon, weil wir auf einem sitzen wahrscheinlich.

Von der Habitabilitätsseite aus gesehen sind Gesteinsplaneten natürlich interessant, weil eben das Leben würde auch eine Oberfläche brauchen.

Allerdings die Gasplaneten sind natürlich auch wichtig, weil vor allem bei der Entstehung vom Sonnensystem haben sie vermutlich auch eine Rolle gespielt und haben das ganze Konstellation sozusagen von den Planeten auch mit beeinflusst.

Habe ich das richtig verstanden?

Hätte das Sonnensystem keine Gasplaneten, könnte es gar nicht dieses Sonnensystem sein?

Es gibt verschiedene Modelle.

Es gibt tatsächlich Modelle, die sich mit der Entstehung von Planeten beschäftigen.

Und es gibt Modelle, die die Erklärung haben, dass die Gasplaneten erstmal nach innen, also sie haben sich geformt, also Jupiter und Saturn, und dann erstmal nach innen gewandert sind und dann wieder zurück nach außen gewandert sind.

Woher will man wissen, dass das passiert ist?

Das kommt aus den Modellen raus.

Das ist einfach modellbedingt.

Und das hat natürlich auch ein bisschen den Effekt, dass sozusagen diese Bewegungen von nach innen, dann wieder nach außen ein bisschen den Bahnen

freigeräumt haben und dann eben vielleicht bessere Bedingungen geschafft haben.

Also freigeräumt im Sinne von Staubsauger.

Genau.

Und dann haben sie letztendlich vielleicht bessere Bedingungen für die terrestrischen Planeten geschafft, dass sie sich dann bilden.

Wie bist du eigentlich überhaupt dahin gekommen, zu tun, was du tust?

Also niemand wacht auf und sagt, ich möchte Computermodelle entwickeln, die die Dynamik von Gesteinsplaneten nachvollziehen können.

Nee.

Tatsächlich, also ich habe Informatik studiert.

Also der Weg war nicht so direkt, sozusagen.

Also ich habe tatsächlich Informatik studiert und dann wollte ich unbedingt in der Forschung bleiben, habe mich angeguckt, verschiedene Stellen und bin dann auf meine Promotionsstelle damals gestoßen.

Dann habe ich mir gedacht, das hört sich sehr interessant an und das wollte ich dann auch machen am Ende.

Und dann bin ich nach der Promotion auch dabei geblieben, sozusagen.

War das Informatikstudium notwendig dafür oder hilfreich?

Ich würde sagen hilfreich.

Notwendig ist es nicht.

Also ein naturwissenschaftliches Studium sollte man schon haben, aber es muss nicht unbedingt Informatik sein.

Also ich habe Kollegen, die zum Beispiel Geowissenschaften studiert haben, aber auch Mathematik oder Physik.

Muss das Fach so interdisziplinär sein?

Ich würde sagen schon.

Also ich glaube vor allem, wenn man wirklich die Entwicklung eines Planeten verstehen möchte, dann muss man das auch aus verschiedenen Gesichtspunkten sich genau angucken.

Wir brauchen letztendlich verschiedene Aspekte, die dann zusammenkommen, um dann tatsächlich das große Ganze zu verstehen.

Welche wissenschaftliche Disziplin bei euch ist am unzufriedensten, weil für die am wenigsten Erkenntnisse oder Daten rausfallen?

Es gibt doch garantiert den einen Kollegen, der immer jammert, weil schon wieder nicht genug für ihn.

Klar, man möchte immer mehr Daten, immer mehr vor allem Missionen schicken, dass man immer mehr Erkenntnisse gewinnt.

Das brauchen wir.

Ansonsten können wir unsere Modelle so schön und gut wie sind, können wir natürlich die auch nicht wirklich realistisch machen.

Also können wir die auch nicht einschränken.

Und natürlich sind wir immer darauf angewiesen, auf Daten, also sei es von der Mission wie gesagt, aber auch Labormessungen.

Also zum Beispiel, wie verhält sich Gestein bei einer bestimmten Temperatur und Druck?

Wie sind die Eigenschaften dort?

Also das brauchen wir auf jeden Fall.

Müsst ihr, um Planetendaten zu erheben, immer hinfliegen oder geht das auch von der Erde aus oder zumindest aus dem Erdorbit?

Genau, also im Prinzip für die Suche nach Exoplaneten, das sind Teleskope, die im Erdorbit sich befinden und die von dort aus durch sogenannte Transitmethode, also das ist, wo der Licht vom Stern sich abdunkelt.

Also wenn man von der Seite auf dem Sonnensystem guckt, auf diesem extrasolaren Sonnensystem guckt, der Licht der Stern wird abgedunkelt, sobald ein Planet vor dem Stern dann zieht.

Das wird dann gemacht mit Teleskope im Erdorbit.

Aber Neues über den Mars erfährst du nicht mehr, wenn du guckst.

Da muss man jetzt hin?

Also bei dem Mars ist tatsächlich eine höhere Auflösung sozusagen.

Genau, man müsste tatsächlich hinfliegen, vor allem, wenn man sich Sachen angucken möchte, wie wo ist Eis im Untergrund gespeichert?

Ja, also da müsste man tatsächlich hinfliegen und mit Radar zum Beispiel diese

Untersuchung machen.

Ist das eigentlich viel Programmierarbeit, die ihr da machen müsst?

Oder habt ihr dafür so eure Leute?

Nein, das ist tatsächlich, wir machen selber die Programmierarbeit.

Also unsere Modelle entwickeln wir auch selber und testen wir auch selber.

Es gibt auch verschiedene Modelle, also verschiedene Arten und Weise, wie wir die Modellierung vornehmen.

Es gibt ja die großen Computermodele, die auf sehr viele Prozessoren laufen lassen, man sie auf sehr viele Prozessoren laufen lässt und ein Tag, eine Woche vielleicht auf die Ergebnisse wartet und so weiter und so fort.

Es gibt auch viele schnellere Modellen, die halt letztendlich auch benutzt werden, dass man dann vielleicht schneller, vielleicht nicht in 3D das Planet abbildet, aber dass man sozusagen wie sich im Mittel die Temperatur entwickelt oder solche Sachen, das kann man dann auch machen.

Macht ihr das dann immer so auf fancy 3D und Visualisierung und sowas, damit so Leute wie ich auch halbwegs begreifen, was ihr den ganzen Tag macht?

Oder sitzt ihr da so vor lauter Zahlenkolonnen, so Matrix?

Ja, also wenn wir die Daten auswerten, ja, es ist nicht unbedingt immer das fancy 3D Bild, was entsteht.

Wenn du die Daten siehst, hast du dieses Bild trotzdem im Kopf?

Ein bisschen schon, ein bisschen schon.

Wie gesagt, wenn wir uns die Daten angucken, muss nicht unbedingt dieses fancy 3D Bild entstehen, aber man möchte schon verstehen, wie, also welche Bereiche, welche Regionen zum Beispiel interessant sind auf einem Planeten, was ist die mittlere Temperatur, wie sich das entwickelt.

Also es hängt davon ab, welche Art von Studie man macht, was die Fragestellung ist.

Dann guckt man sich unterschiedliche Datensätze an letztendlich.

Ich habe das jetzt richtig verstanden.

Also ihr seid in der Lage, die Evolution eines Planeten euch anzusehen.

Wie weit könnt ihr denn da eigentlich zurückgucken, beliebig weit?

Genau, also mit den Computermodellen kann man, das ist der Vorteil von Computermodellen, also man kann beliebig weit zurückgucken.

Was man natürlich machen muss, ist, dass man sich Ankerpunkte definiert und das sind die Daten, die Missionsdaten oder beziehungsweise Daten, die wir haben über die Planeten.

Das sind die Ankerpunkte, die wir erreichen müssen in unseren Modellen, sodass das Modell so realistisch wie möglich ist.

Das heißt, sonst sieht die Erde irgendwie nicht so aus, wie sie aussieht und dann habt ihr irgendwann falsch gerechnet.

Aber je weiter ihr zurückkommt, desto ungenauer müsste es doch eigentlich werden, oder weil du weißt über die Zustände vor fünf Milliarden Jahren ja eigentlich gar nichts.

Naja, vor allem für die Erde weiß man sehr recht wenig, weil wie gesagt, durch die

Platentektorik wird alles sehr stark erneuert.

Aber es gibt ja zum Beispiel Mond hat Spuren von den vergangenen Prozessen, vor allem hat man auf dem Mond sehr viele Bereiche, wo die Kruste sehr alt ist und dann kann man genau gucken, was sich dort abgespielt hat.

Genauso auf dem Mars gibt es Bereiche, die vielleicht 3,5, 4 Milliarden Jahre alt sind und dann kann man sich eben davon Erkenntnisse schaffen, wie es die Evolution damals ausgesehen hat.

Was ich die ganze Zeit noch gestehen habe, ist, du hast eben gesagt, man könnte über die Krater, die man auf dem Mond sieht oder überhaupt auf dem Planeten, das Alter bestimmen.

Wie denn das?

Naja, im Prinzip die Idee ist, wenn man eine Oberfläche hat, jetzt zerkratert sie ist, desto älter muss sie ja gewesen sein, desto älter ist sie, weil sie muss ja diese, also sie hat eine längere Zeit gehabt, um eben diesen, ist ausgesetzt an den Bombardement, das schlappgefunden hat.

Stimmt, leuchtet ein.

Du kannst sagen, dass eine Oberfläche, die mit vielen Kratern übersät ist, prinzipiell älter sein muss als eine glatte Oberfläche.

Aber wie viel älter, kannst du das auch sagen?

Das kann man im Prinzip auch sagen, also vor allem diese Alterbestimmung wurde ja für den Mond kalibriert.

Also man hat Mondgesteine von den Apollo-Missionen zurück auf die Erde gebracht und das wurde mit deutlich komplexeren Alterstatisierung-Methoden untersucht, also wirklich geochemisch sich angeguckt, anhand von

Isotopendaten, die alt diese Mondgesteine sind.

Dann kann man das natürlich nutzen, um das Alter zu bestimmen und auch um das Modell zu kalibrieren, sozusagen, dann weiß man den Bereich, aus dem das Gestein gekommen ist, muss so und so alt gewesen sein.

Dann kann man das natürlich durch die Kraterzählung kalibrieren.

Aber gilt das, was für die Kraterzählung auf dem Mond gilt, dann auch für die Kraterzählung auf dem Mars?

Man denkt, das ist auf jeden Fall sehr ähnlich, vor allem weil man erlebt sozusagen den gleichen Bombardement am Anfang, als die Planeten sich geformt haben.

Also man denkt, dass es tatsächlich sehr ähnlich sein muss.

Und darauf basiert dann letztendlich auch diese Alterbestimmung.

Bezweifel, die kann man an anderen Planeten besuchen?

Ja.

Aus Spaß oder für die Wissenschaft?

Also ich würde es aus Spaß machen.

Ich würde auf jeden Fall für die Wissenschaft das machen, weil man möchte wirklich dahin fahren, vielleicht selber eine Probe, eine Gesteinsprobe nehmen und dann wissen und aufzeichnen, welcher Bereich ist es gewesen auf der Oberfläche, woraus wir diese Gesteinsprobe gehabt haben.

Vor allem für Mars, wir haben ja viele Meteoriten, die von Mars auf der Erde kommen, aber wir wissen nicht, aus welcher Region sie kommen vom Mars.

Und das wäre natürlich perfekt, wenn man dann dahin gehen würde und dann aus einer bestimmten Region, dann weiß man, aus welcher Region das Gestein ist und dann kann man das mit Sicherheit Untersuchungen dann da führen.

Wie kommen denn die Meteoriten vom Mars überhaupt hierher?

Also wie kommen die vom Mars weg?

Durch Impakt.

Der rotiert ja jetzt nicht so, achso.

Ich dachte, der rotiert so schnell, dass die dann so... Also durch Impakt, wenn ein Einschlag kommt, dann schleudert das Material raus und dann, ja, Mars ist auch relativ nah zur Erde, von daher ist auch die Chance groß, dass solches Material dann zur Erde kommt.

Bist du zufrieden damit, am Mars zu arbeiten oder würdest du gerne, klar, du würdest natürlich gerne von allen Planeten alle Daten haben, aber gibt es irgendwas, wo du sagst, wenn ich hinfliegen könnte, würde ich lieber zu Venus als zu Mars, zum Beispiel?

Ich glaube, da sind viele Orte, wo man gerne hinfliegen würde.

Also Venus ist definitiv ein Ort, was man genau unter die Lupe annehmen möchte, aber auch Merkur, BepiColombo, die Sonde, die am 20.

Oktober gestartet ist, die wird sich das auch nochmal genauer anschauen für Merkur und da gibt es noch viele Fragestellungen, die man beantworten möchte.

Die Sonde, die jetzt im Oktober gestartet ist, wann wird die da sein?

In etwa sieben Jahren dauert der Flug.

Das liegt daran, dass der sehr nah an der Sonne ist.

Was wird das Ding messen?

Es ist im Prinzip eine ESA-JAXA-Mission, also JAXA ist die japanische Raumfahrtagentur und es sind zwei Orbiter, also den Mercury Planetary Orbiter und den Mercury Magnetospheric Orbiter.

Die werden sich die Oberfläche des Planeten angucken und auch das Magnetfeld von Merkur genauer angucken, also zu charakterisieren und zu verstehen, wie das Magnetfeld entsteht und auch die Oberfläche zu verstehen, welche Art von Gestein auf der Oberfläche sich befindet, vor allem auch in der südlichen Hemisphäre.

Wir haben die Messenger-Mission, also die letzte Mission zu Merkur, die hat einen sehr elliptischen Bahn gehabt und da konnten sie sehr gut die nördliche Hemisphäre dann abbilden, aber nicht die südliche Hemisphäre und das ist, was Pepe Colombo auf jeden Fall machen wird.

Sie wird uns definitiv sehr hilfreiche Daten liefern über die Oberfläche von Merkur.

Jetzt habe ich keine Fragen mehr auf meinem Zettel stehen.

Jetzt mache ich etwas, was ich normalerweise bei jeder Sendung mache, was ihr nie hört, weil ich es hinterher immer rausschneide.

Haben wir über irgendwas zu reden vergessen?

Ich glaube, wir haben ziemlich alle Themen abgedeckt.

Okay, dann frage ich jetzt mal das Publikum.

Haben wir über irgendwas zu reden vergessen?

Was ist mit der Atmosphäre auf dem Mars?

Ja, auf dem Mars, es gibt eine Atmosphäre, sie ist aber sehr dünn.

Woraus besteht die?

Aus Kohlendioxid und anderer Sporengase.

Angeblich gab es mal eine Sauerstoffatmosphäre auf dem Mars?

Na ja, aufgrund von den geomorphologischen Untersuchungen der Oberfläche, man weiß, dass es einst Wasser auf der Oberfläche von Mars geflossen ist.

Ob es tatsächlich Ozeane oder Seen auf der Oberfläche von Mars gegeben hat, ist nicht klar.

Aber wahrscheinlich war die Atmosphäre etwas dichter oder dicker in der Vergangenheit, sodass dann tatsächlich Wasser flüssig in flüssiger Form über die Oberfläche laufen konnte.

Das sieht man an den vielen geologischen Strukturen, so wie Flussbetten oder Deltas und solche Sachen.

Das kann man daraus erkennen.

Wo ist die hin?

Na ja, Mars hat kein Magnetfeld, der möglicherweise die Atmosphäre schützen kann.

Das heißt letztendlich, dass die Atmosphäre sehr langsam abgetragen wird und dann verloren wird, einfach zum Weltraum.

Also weggeblasen wird sozusagen.

Genau.

Und heute ist die Mars-Atmosphäre, also der Druck ist etwa so 6 Millibar.

Auf der Erde haben wir 1 Bar im Mittel.

Also es ist sehr, sehr dünn heute.

Ist also nicht der Rede wert?

Ne, es ist schon deutlich mehr als bei anderen, also andere terrestrische Planeten haben ja nicht wirklich eine.

Mond hat gar nichts.

Mond hat gar nichts.

Aber es ist schon dünn im Vergleich zu der Atmosphäre auf der Erde.

Aber es ist halt schon noch da vorhanden.

Wie wirkt sich denn die Restatmosphäre auf den Planeten aus?

Also was würde mit Mars passieren, wenn diese Atmosphäre gar nicht da wäre?

Ja, man hätte auf jeden Fall viel stärkere Temperaturunterschiede, würde ich sagen.

Es ist zwar dünn, aber es ist genug da, um zum Beispiel, dass auf dem Mars Winde und auch Staubstürme zum Beispiel entstehen.

Also es gibt auf dem Mars vor allem sehr, sehr große Staubstürme, die einfach, also das Wind wirbelt letztendlich Staub von der Oberfläche auf und trägt das in der Atmosphäre.

Weiter geht's mit Hörerfragen, beziehungsweise Publikumsfragen.

Und zwar waren gleich zwei Fragen zur Altersbestimmung durch Kratereinschläge.

Zum einen gibt es ja eine zeitliche Diskrepanz zwischen Erde- und Mondentstehung.

Macht das was aus oder geht das irgendwie im Rauschen der Jahrtausenden unter?

Im Prinzip, wie ich schon vorhin gesagt habe, man hat ja Gesteinsproben von dem Mond, was durch die Apollo-Mission zurückgebracht worden sind.

Und diese Gesteinsproben hat man mit Isotopenanalysen, also letztendlich kann man sich mit solchen Methoden sehr gut und sehr genau das Alter bestimmen.

Von daher, man kennt das Alter des Mondes einigermaßen gut, wobei es gibt immer noch Unsicherheiten, wann genau eben dieses Ereignis stattgefunden hat, dieser Impact.

Was der Mond letztendlich geformt hat.

Also es gibt immer noch ein bisschen Unsicherheiten mit dabei, das ist klar.

Was heißt Unsicherheiten in Jahren?

Das ist schwierig abzuschätzen, weil das, es wären wahrscheinlich eher, also ich könnte das schwer abschätzen, wie groß diese Unsicherheiten sind.

Aber es ist tatsächlich auch die Unsicherheit in der Kristallisation von dem Magma-Ozean.

Also wie gesagt, als der Mond sich geformt hat, dann gab es sehr viel Wärme, sehr viel Energie vorhanden, sodass das gesamte Mond geschmolzen war.

Und als der Mond kristallisiert ist, dieser Kristallisierungsprozess, das dauert natürlich auch und das ist auch mit Unsicherheiten verbunden.

Wir können ja nicht zurückgehen und gucken, wie lange das gedauert hat.

Und das versucht man anhand von Gesteinsproben vom Mond und eben durch Modelle, das ein bisschen zusammenzubringen, also dass man eben Einschränkungen bekommt für solche Prozesse, die sehr früh stattgefunden haben.

Und die nächste Frage auch zu Kratern wäre, es gibt ja noch andere Faktoren, die beeinflussen, wie viele Einschläge überhaupt auf so einem Himmelskörper ankommen, also Atmosphäre, Magnetfeld und sowas.

Könnt ihr das rausrechnen oder ist auch das egal, weil so viele Millionen von Jahren da liegen?

Naja, im Prinzip kann man sich angucken.

Also zum Beispiel auf der Venus gibt es, habe ich schon gesagt, sehr, sehr wenig Krater.

Und man hat wiederum basierend auf Modelle ausgerechnet, wie viele Krater es tatsächlich vorhanden sein sollten und wie viele tatsächlich von den Meteorit-Einschlägen die Oberfläche erreichen würden, obwohl man diese dicke Atmosphäre hat.

Wobei es natürlich auch unklar ist, wann Venus diese dicke Atmosphäre

bekommen hat.

Vor allem für die jetzige Altersoberfläche hat man sich zum Beispiel mit Modellen angeguckt, eben wie viele Einschläge sollten dann die Oberfläche erreichen.

Dann sieht man, dass es trotzdem viel mehr, also die Modelle würden viel mehr voraussagen, als was man beobachtet.

Dann heißt es letztendlich, dass die Oberfläche durch einen anderen Prozess sich letztendlich erneuert hat, also dass die Oberfläche sehr jung ist.

Also bisher kennen wir ja diese Gesteinsplaneten und Gasplaneten.

Und gibt es irgendwie Hinweise auf oder zumindest Modelle dafür, dass es noch andere Möglichkeiten gibt, wie sich so ein Planet zusammenfindet und irgendwie stabil bleibt?

Oder ist überall nur Gas und Stein?

Naja, also im Prinzip, wir haben ja in unserem Sonnensystem, wenn man das so klassifiziert, es gibt ja die Gesteinsplaneten, das sind die inneren Planeten im Sonnensystem.

Dann gibt es die Gasplaneten, Jupiter und Saturn.

Dann gibt es natürlich auch die Eisriesen, also wenn man die Eisriesen auseinander von den Gesteinsplaneten halten möchte.

Und da sind dann Uranus und Neptun.

Was man tatsächlich gefunden hat in anderen Sonnensystemen, da hat man Gesteinsplaneten gefunden, die viel größer sind als die Erde.

Also sagen wir mal zwei Erdradien oder so in der Richtung etwa sieben, fünf bis

sieben Erdmassen, also die sogenannten Supererden.

Das ist was wir in unserem Sonnensystem nicht haben, aber das hat man beobachtet in anderen Sonnensystemen.

Was man auch noch beobachtet, sind Minigasplaneten, also dass die auch wiederum so zwei, drei Erdradien, aber eine deutlich geringere Dichte haben und dementsprechend eben eine Gashülle um sich herum haben.

Also es gibt andere Arten von Planeten, was wir im Sonnensystem nicht sehen, aber es gibt eine viel größere Diversität an Planeten außerhalb und deshalb schaut man sich andere Sonnensysteme an, um das zu verstehen.

Also wie entstehen an Planeten letztendlich und wie typisch ist unser Sonnensystem letztendlich.

Warum sind Supergesteinsplaneten und Minigasplaneten sowas Ungewöhnliches?

Die sind nicht ungewöhnlich.

Achso, die sind einfach nur selten.

Die sind in unserem Sonnensystem nicht vorhanden.

Wäre es theoretisch auch möglich, dass es einen Planeten gibt, der komplett aus flüssigem Wasser besteht?

Komplett aus flüssigem Wasser, würde ich vielleicht sagen, das ist ein bisschen zu extrem, aber vielleicht kann es sein.

Es kann uns wahrscheinlich überraschen, wenn man eben deshalb sucht man nach anderen Planeten und anderen Sonnensystemen, weil wir letztendlich, also zumindest bevor man angefangen hat, in anderen Sonnensystemen zu suchen,

hat man gedacht, ja, Sonnensystem ist typisch.

Man wird wahrscheinlich das Gleiche rausfinden draußen, aber hat man eben auch andere Arten von Planeten gefunden.

Es kann einen sehr überraschen, was man da draußen findet.

Sind Sie in Ihrer Arbeit durch Rechenleistung limitiert?

Also hätten wir bessere Ergebnisse, wenn wir schnellere Rechner hätten oder Sie schnellere Rechner zur Verfügung hätten?

Es ist schon so, dass man viel Rechenleistung braucht, aber man braucht natürlich auch in erster Linie, dass die Methoden, die man nutzt, dass die auch effizient laufen.

Also es ist nicht nur viel mehr Rechenleistung, es wird alles schneller und besser.

Es muss auch das Algorithmus, was man nutzt, muss effizient skalieren sozusagen.

Es muss effizient auf mehrere Prozessoren zum Beispiel laufen.

Ich habe noch eine Frage zu Gasplaneten.

Haben wir eine Vorstellung, was mit Gasplaneten in der Zukunft passiert, wenn man ihnen genug Zeit ließe, also wenn die Sonne sich nicht ausdehnen würde?

Wohin würden sich Gasplaneten entwickeln, die kühlen ab?

Was passiert denn irgendwann mit dem Gas?

Ist es dann weg?

Wird es fest?

Werden es Eisplaneten?

Ich denke, es würde auf jeden Fall eine sehr lange Zeit dauern, bis tatsächlich so etwas passieren würde, ob es überhaupt passiert.

Ich meine, die Gasplaneten Jupiter und Saturn, die sind seit viereinhalb Milliarden Jahren da.

Die haben sich vor viereinhalb Milliarden Jahren gebildet.

Hat sich auch nicht verändert seitdem?

Naja, verändert schon.

Aber vor allem verändert, indem auf dem Jupiter gibt es sehr starke Winde und sehr große Wirbelstürme.

Also da sieht man, dass Veränderungen stattfinden.

Also dass für eine gewisse Zeit der große rote Fleck vorhanden war und dann hat es in der Intensität abgenommen.

Aber die waren nicht früher noch gasförmiger?

Das würde ich sagen, nein.

Meine Frage geht jetzt in eine ähnliche Richtung, nur die terrestrischen Planeten, also die Gesteinsplaneten betreffend.

Gibt es da so einen typischen Lebenszyklus von Gesteinsplaneten, der dann abhängig ist von der Sonne oder wie unsere Sonne, die ja auch einen typischen Lebenszyklus hat?

Oder ist das immer in Abhängigkeit zu einer Sonne dann zu sehen?

Das ist die eine Frage.

Die andere Frage ist, zu den Modellen, die ihr berechnet, gibt es da so ein Supermodell, was ihr dann aufstellt, was dann halt je nach Weite und Masse und so weiter, Entfernung von Monden und so weiter, da plumpsen die einzelnen Planeten raus?

Oder ist das jetzt ein spezielles Modell, was jetzt nur für den Mars und nur für die Erde funktioniert?

Oder, ja, ich meine, so ein Supermodell hätte den Vorteil, dass man dann irgendwann so mit Minimaldaten aus Exoplaneten dann eine gewisse Vorhersage treffen kann für diesen Planeten.

Wird daran gearbeitet?

Also vielleicht zu der zweiten Frage.

Also im Prinzip die Physik, die wir uns angucken, anschauen in unseren Modellen, ist ja die gleiche.

Die Prozesse, die sich im Inneren abspielen, die sind ähnlich.

Es hängt natürlich davon ab, wie, also von der Größe des Planeten vielleicht, dass man manche Prozesse oder manche Mineralphasen nicht vorhanden sind bei kleineren Planeten im Vergleich zu größeren Planeten und so weiter und so fort.

Also die Parameter sind immer leicht anders.

Und das hängt sehr stark von dem, also die Parameter sind ja letztendlich, ja, Planetenradius, Manteldicke, also was ist der Gesteinsmantel, wie dick ist der

Gesteinsmantel und natürlich Anfangsbedingungen, die wir immer variieren, um eben zu sehen, was für Effekte dann oder wie wichtig die sind, diese Anfangsbedingungen.

Allerdings müssen wir in unseren Modellen immer genau einen Planeten angucken, sagen wir mal Mars oder Erde oder Mond und so weiter, dass wir unser Modell erstmal kalibrieren können.

Dass wir letztendlich, wenn wir die thermische Evolution von Mars erklären können, dass wir sagen, okay, wenn jetzt Mars größer wäre, sagen wir mal, zwei Mal, vier Mal so groß wie Mars in unserem Sonnensystem, wie würde sich dann die Entwicklung abspielen in so einem großen Planet, genauso für die Erde.

Wenn skalieren wir einfach mal die Erde und gucken, wie die Entwicklung sich abspielt.

Die andere Frage war, ob es einen Lebenszyklus, also einen typischen Lebenszyklus eines Planeten gibt.

In gewisser Weise ist es ähnlich, würde ich sagen, ja.

Aber es hängt auch sehr stark davon ab, wie die Anfangsbedingungen sind.

Also ob der eine Planet einen großen Einschlag miterlebt hat, wie zum Beispiel bei der Erde und dann hat man den Mond geformt.

Wie ist es bei der Venus?

Vielleicht hat Venus auch einen großen Einschlag bekommen, aber es ist kein Mond entstanden.

Also solche Faktoren, die unterscheiden schon die einzelnen Planeten zueinander.

Aber so die Gemeinsamkeiten, die Planeten, die bilden sich sehr heiß und erfahren möglicherweise eine Zeit, in der deren Mantel geschmolzen ist, also diese Magma-Ozean-Phase, die am Anfang der Entwicklung stattfindet.

Wie lang diese Magma-Ozean-Phase ist, das ist sicherlich auch abhängig von der Planeten selbst, also von der Größe von dem Planeten und auch von anderen Faktoren, ob der Planet zum Beispiel eine Atmosphäre, eine dichte Atmosphäre, während der Abkühlung dieser Früherphase, dieser flüssigen Magma-Ozean, formen kann.

Diese Atmosphäre wird den Planeten besser abdecken, sozusagen, sodass der Planet nicht so schnell auskühlt.

Dann ist diese Magma-Ozean-Phase eben länger in diesem Fall als in einem Fall, wo diese Atmosphäre gar nicht entstanden ist, ganz am Anfang.

Genau, und dann im Prinzip kühlen alle Planeten mit der Zeit.

Wann ist die Erde ausgekühlt?

Na ja, also ich glaube, da wird man andere Probleme kriegen, bevor man die Erde tatsächlich vollständig ausgekühlt hat.

Wenn die Erde keine Atmosphäre hätte, wäre die Oberflächentemperatur dann gleich der Temperatur im Universum, also im Weltall, oder würde die Hitze, die aus der Erde rauskommt, die Oberfläche hinreichend erwärmen?

Also das heißt hinreichend für was, aber wäre es warm?

Also im Prinzip, wenn man sich den Mond anschaut, ja, die Temperaturen sind sehr extrem und das ist eben, weil es keine Atmosphäre gibt.

Aber der Mond ist durchgehend gleich kalt, oder?

Oder ist der auch innen warm?

Also der Mond an sich ist innen auch warm, natürlich.

Aber wenn die Sonne auf der Oberfläche scheint, also der Bereich, der von der Sonne eingestrahlt wird, der ist deutlich wärmer als der Bereich nebenan, der vielleicht im Schatten liegt.

Also die Unterschiede in der Temperatur sind sehr groß und das ist, das passiert auf den Körper, die keine Atmosphäre haben.

Also wenn die Atmosphäre da ist, die sorgt dafür, dass die Temperaturen sich besser angleichen.

Noch eine Frage zu Ihren Computermodellen.

Wenn Sie irgendwie jetzt auf dem Mars so, sagen wir, 15 Proben oder irgendwie haben, wie gehen Sie damit um, dass das über den ganzen Planeten verteilt ist?

Ist das dann einfach gleich oder Durchschnitt, oder wie genau sind die Modelle eigentlich?

Es kommt darauf an, welche Daten man sich anguckt.

Also wenn man sich zum Beispiel Vulkanismus anguckt, man hat die großen Bereiche, was ich vorhin schon erwähnt habe, diese großen vulkanischen Regionen auf dem Mars, die Tharsis-Region und die Elysium-Region.

Und was wir zum Beispiel mit unseren Modellen reproduzieren müssen, ist, dass der Vulkanismus vielleicht am Anfang mehr verbreitet war, aber mit der Zeit sich in dieser Region fokussiert hat.

Und das müssen unsere Modelle letztendlich reproduzieren können.

Also wir müssen schon, wir schauen uns schon, wie die Krustenproduktion oder wie das Vulkanismus verteilt ist auf der Oberfläche.

Es hängt auch natürlich davon ab, welche Art von Modelle sich anguckt.

Also es gibt eben diese 3D-Modelle, wo man das ganz gut sehen kann, wo man das ganz gut vergleichen kann mit der Oberfläche und mit bestimmten Daten an bestimmten Orten an der Oberfläche.

Aber es gibt auch Fragestellungen, wo man sich einfach nur fragt, wie ist so ein Planet in erster Linie, wie hat es sich entwickelt?

Wie ist die mittlere Temperatur zum Beispiel oder sind die mittleren Eigenschaften während der Evolution von so einem Planeten?

Dafür braucht man kein globales 3D in erster Linie, sondern das kann man mit viel einfacheren Modelle, aber wenn man mit genauer Orte auf der Oberfläche vergleichen möchte, dann braucht man tatsächlich so eine Ortsabhängigkeit und dann braucht man natürlich die 3D-Modellierung.

Wäre es eigentlich gefährlich, wenn man einmal komplett durch so einen Planeten bohren würde?

Haben wir doch schon die Erdachse.

Na ja, ich glaube, das ist eher schwierig zu machen.

Und es braucht sehr viel Energie, sodass man wirklich sehr tief bohren muss.

Also man muss diese Energie natürlich auch irgendwie mitbringen und das ist dann natürlich ein Extrakostenfaktor, was man mitberechnen muss bei der Missionsplanung.

Ich habe mal so eine Fun-Frage.

Wie groß kann ein Berg oder Vulkan maximal werden?

Also auf der Erde sind es ja irgendwie so acht Kilometer, auf dem Mars sind es ja irgendwie 21, aber welche Eigenschaften muss so ein Planet haben, dass der Berg noch größer als 21 Kilometer wird?

Auf der Erde sind, ich glaube, der größte Berg ist der Mauna Loa, glaube ich.

Wenn man von der Unterseeoberfläche bis zum Gipfel misst, sind es ungefähr so zehn Kilometer, glaube ich, elf Kilometer maximal.

Und auf der Erde ist natürlich auch die Plattentektonik dazu verantwortlich, dass, wenn sich die Platten bewegen, dann hat man, wenn das Material wieder draufgesetzt wird, sozusagen sich auch nicht immer an der genau gleichen Stelle, wenn man Hawaii zum Beispiel sich anguckt, das sieht man sehr, sehr gut.

Da ist die Inselkette und da vermutet man, dass die Inselkette genau deswegen entstanden ist, weil die Platte sich bewegt hat.

Auf Mars, man hat ein Plattenplanet, also da bewegt sich die Oberfläche nicht und da kann man natürlich an der gleichen Stelle mehr und mehr Material dazu packen.

Das ist der Olympus Mons, das ist der größte Vulkan auf dem Mars und der ist etwa 26 Kilometer hoch.

Dazu kommt auch noch, bei dem Mars ist die Erntezielungskraft geringer als bei der Erde.

Also bei der Erde sind es etwa zehn, also 9,8 und bei Mars ist es ungefähr ein Drittel.

Und das ist natürlich auch wieder ein Faktor, wo man eben Material draufsetzen

kann, leichter sozusagen.

Ich habe noch mal eine Frage zu diesem Fünf-Meter-Born auf dem Mars.

Wenn man aus dieser geringen Tiefe schon Herleitung machen kann.

Ich überlege, wir haben vor drei Wochen bei uns in der Siedlung 30 Meter Brunnen gebohrt.

Würde das dann also auch ausreichen, um aus einem solchen Loch Aussagen über die Wärmentwicklung in der Erde zu machen?

Weil also mir kommen fünf Meter schon recht wenig vor.

Weil es hängt auch sehr davon ab, bohrt man hier 30 Meter in der Eifel oder am Vesuv kommen ganz andere Sachen raus.

Also wie geht das, bei fünf Metern solche Aussagen treffen zu können?

Ich habe schon vorhin erwähnt, dass es viele Wärmeflussmessungen gibt und vor allem auf der Erde.

Das variiert auch sehr stark mit dem Ort sozusagen.

Das hängt auch davon ab, ob man in der Nähe von einem Vulkan so eine Wärmeflussmessung durchführt oder in eine ruhige Gelände, wo es keine Störungsfaktoren sind.

Oder beziehungsweise auf der Erde gibt es ja, wie gesagt, auch die Platten tektonik.

Das hängt auch mit dem Alter der Platen sozusagen.

Also es gibt Messungen sozusagen für ozeanische Platen, auch für die

Kontinentalplatten.

Die Werte sind natürlich auch leicht anders, weil die einen jünger sind als die anderen.

Dazu kommt auch noch, dass die Oberflächen, also die Temperaturvariationen, vor allem die Jahreszeitenvariation der Temperatur auch in der Erde tiefer eindringen als bei Mars.

Und das ist eben deswegen, weil bei Mars, wir haben einen sehr porösen Schicht, das heißt Regolith.

Das ist ein Gestein, was zertrümmert wurde durch Einschläge von Meteoriten, Mikrometeoriten.

Das hat man auf dem Mond und auf Merkur auch.

Und diese Schicht hat eine sehr niedrige Leitfähigkeit.

Also die Wärme sehr schlecht sozusagen.

Das heißt, die Einflüsse von den Oberflächenvariationen, die aufgrund von Jahreszeiten und so weiter, die dringen nicht so tief ein.

Und deshalb ist fünf Meter Tiefe eigentlich gut dafür, dass man eine gute Messung machen kann.

Also man ist schon unterhalb von diesem Störungsfaktor.

Ich habe noch mal eine Frage in eine andere Richtung, und zwar Frauen in der Wissenschaft.

Der MINT-Bereich ist ja eher Männerdominiert.

Und wie ist dann so Ihre Erfahrung gewesen?

Gab es da Probleme oder haben Sie noch mal so ein, zwei Gedanken einfach dazu, so als Frau in der Wissenschaft?

Ich habe schon während des Universitätsstudiums gesehen, ich hatte viele männliche Kollegen und nicht sehr viele weibliche Kollegen.

Aber trotzdem, ich hatte immer den Eindruck, die weiblichen Kollegen waren desto motivierter und haben das Studium auch erfolgreich geschafft.

Es gibt viele Programme, auch viele Förderungsmöglichkeiten für Frauen, die man natürlich auch nutzen kann.

Aber wie gesagt, es ist nach wie vor ein Problem.

Aber man hat deutlich mehr Unterstützung, finde ich.

Also zumindest ich habe das so gespürt während meines Studiums und auch während meiner Doktorarbeit hat man auch viel Unterstützung von allen Kollegen bekommen.

Und das finde ich ist sehr hilfreich, also hat sehr viel geholfen.

Vor deinem Forschungshintergrund so betrachtet, welcher Planet im Sonnensystem, die Erde mal ausgenommen, ist denn der spannendste, coolste und welcher der langweiligste und warum?

Welches deiner Kinder hast du am liebsten?

Ja, das ist sehr schwer zu sagen, weil alle Planeten sind spannend.

Und vor allem, was ich spannend finde, ist, dass man sich nicht nur ein Planet anschauen kann und sagen kann, ja, jetzt habe ich das alles verstanden, weil

dann geht man zu dem nächsten und das ist total anders.

Und dann braucht man tatsächlich eben diesen Vergleich.

Also man braucht den Vergleich zwischen unterschiedlichen Körpern in unserem Sonnensystem und außerhalb unseres Sonnensystems, einfach um zu verstehen, wie entstehen solche Planeten, wie entwickeln sich diese Planeten und warum sehen wir heute das, was wir sehen.

Warum sind heute die Planeten so unterschiedlich, so wie wir sehen?

Warum sind die Oberflächen unterschiedlich, so wie wir die zum Beispiel sehen?

Also es ist, ich würde sagen, es gibt keinen langweiligen Planeten.

Es sind alle Planeten interessant und es gibt verschiedene Aspekte, die man besser bei den einen Planeten im Vergleich zu dem anderen verstehen kann.

Und wie gesagt, ich glaube, man muss zwischen denen vergleichen, um besser zu verstehen, wie die Planeten im Allgemeinen sich entwickeln.

Es reicht nicht nur einer.

Ana-Catalina Plesa, vielen Dank.

Vielen Dank.

[Applaus] [Musik] [Applaus] [Musik] [Applaus] [Musik] [Applaus] [Musik]
[Applaus] [Musik] [Musik]