

DAWN-Die Morgendämmerung im Asteroidengürtel

Facharbeit im Seminarfach Astronomie

Greselius-Gymnasium Bramsche

Jason Berger, Jahrgang 12



Abb. 1: DAWN Mission Patch

Fachlehrer: Herr Riemer

Abgabedatum: 02.03.2026

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Warum wurde die Mission gestartet?	1
2.1 Vesta	2
2.2 Ceres.....	2
2.3 Die wissenschaftlichen Ziele der Mission.....	2
3. Die Sonde	3
3.1 Die Trägerrakete	3
3.2 Die Ionentriebwerke	4
3.3 Die Messgeräte	6
3.3.1 Framing Cameras	6
3.3.2 GRaND.....	7
3.3.2.1 Die Neutronenreaktion	7
3.3.2.2 Die Detektoren	9
3.3.3 VIR	10
3.4 Navigation	11
4. Ablauf der Mission	12
4.1 Interplanetare Kreuzfahrt	13
4.2 Vesta	14
4.3 Ceres.....	15
5. Fazit	15
5.1 Erkenntnisse bei Ceres und Vesta.....	15
5.2 Persönliches Fazit.....	16
6. Literaturverzeichnis.....	18

1. Einleitung

Wenn man an Objekte in unserem Sonnensystem denkt, sind die Planeten meist der Mittelpunkt, während andere Objekte wie Zwergplaneten in den Hintergrund geraten. Die Mission DAWN aus dem Jahr 2007 hat sich zwei dieser kleineren Objekte als Ziele gesetzt. Nämlich den Zwergplaneten Ceres und den Asteroiden Vesta. Beide Objekte sollten von der Sonde erforscht werden.

Trotz ihrer geringen Größe wird in den Zielen der Mission gezeigt, was dennoch so interessant daran ist sich mit ihnen zu beschäftigen und was wir von ihnen und ihrer Entstehungsgeschichte lernen können.

Da beide Objekte im weit entfernten Asteroidengürtel zwischen Jupiter und Mars liegen, benötigt eine Sonde effiziente Triebwerke, welche den nötigen Schub bereitstellen, was bei DAWN mithilfe von Ionentriebwerken gelöst wurde. Um daraufhin zu verstehen, wie Daten auf den weit entfernten Körpern gesammelt werden, wird erläutert, wie die Messgeräte der Sonde funktionieren.

Ziel dieser Facharbeit ist es, die DAWN-Mission hinsichtlich ihrer technischen Umsetzung, ihres Verlaufs sowie ihrer wissenschaftlichen Erkenntnisse zu analysieren und zu erläutern.

2. Warum wurde die Mission gestartet?

Eine große Frage, die man sich bei der Mission möglicherweise stellt, ist warum diese in den Asteroidengürtel startete und was die Beweggründe waren die Mission zu veranlassen. Elizabeth Landau nennt es in ihrem Artikel „Cosmic Detective Work“ [1], also Detektivarbeit im Weltraum, denn auch diese kleinen Objekte im Sonnensystem können bedeutende Hinweise in Bezug auf die Entstehung unseres Planeten liefern. Die Untersuchungen an den kleinen Objekten können auch Hinweise auf Gefahren geben und ebenso Denkanstöße für Erkundungen in der Zukunft liefern.[1]

Es ist interessant sich solche Objekte im Weltraum genauer anzusehen, weil diese aus der sehr frühen Phase der Entstehung des Sonnensystems stammen und somit Informationen über diese Zeit liefern können.[1]

2.1 Vesta

Der Asteroid wurde im Jahr 1807 von Heinrich Wilhelm Olbers in Bremen entdeckt. Vesta ist der zweitgrößte Körper im Asteroidengürtel und besitzt damit neun Prozent der gesamten Masse des Gürtels. Der richtige Name des Asteroiden ist 4 Vesta, da er der vierte von den bis dahin entdeckten Asteroiden war. Das Objekt ist annähernd rund und wurde so fast als Zwergplanet kategorisiert. Außerdem ist Vesta differenziert. Das bedeutet, dass der Körper in mehreren Schichten aufgebaut ist. Ein weiteres Merkmal von Vesta ist der riesige Krater am Südpol, der einen Durchmesser von 460 Kilometern und eine Tiefe von 13 Kilometern besitzt.[2]

Das Objekt wurde wegen der Differenzierung, der Trockenheit und der Ähnlichkeit zu anderen Gesteinskörpern des inneren Sonnensystems für die Mission ausgewählt.[2]

2.2 Ceres

Ceres wurde im Jahr 1801 von Giuseppe Piazzi entdeckt und war das erste Objekt, dass im Asteroidengürtel gesichtet wurde. Der Zwergplanet wurde außerdem nach der römischen Göttin Ceres benannt. Der als Zwergplanet kategorisierte Körper besitzt 25 Prozent der gesamten Masse im Asteroidengürtel, wodurch er vor Vesta das größte Objekt des Gürtels ist. Sein Radius beträgt 476 Kilometer, was im Vergleich zu der Erde mit 6371 Kilometern recht klein ist.[3]

Ein Alleinstellungsmerkmal ist etwas, worüber, die Wissenschaftler im Voraus Vermutungen angestellt hatten. Die Forschenden dachten, dass sich unter der Kruste Wasser in Form von Eis befindet, was eine mögliche Quelle für Leben ist. Ceres ist zusätzlich auch differenziert, wodurch er ebenfalls interessanter wird.[3]

2.3 Die wissenschaftlichen Ziele der Mission

Bei dieser Mission besteht das Hauptziel darin, mehr über die Vergangenheit des Sonnensystems herauszufinden. Vesta und Ceres geben durch ihren differenzierten Aufbau und ihre Größe Hinweise darauf, dass sie fast Planeten geworden wären, aber die Entwicklung durch bestimmte Faktoren nicht geschafft haben. Elizabeth Landau nennt sie „two ancient fossils“ [1], also zwei antike Fossilien, die den weiteren Weg nicht geschafft haben. Genau solche „Fossilien“ können uns die

Hinweise geben, was zu der Zeit passierte, als Planeten sich entwickelten. Dies soll unser Verständnis für die Entwicklung von Planeten verbessern und zeigen, welche Faktoren entscheidend für die Entwicklung sind. Landau schrieb auch darüber, dass solche kleinen Objekte in der Zukunft als Zwischenstationen genutzt werden könnten.[1]

Um Vergleichbarkeit zwischen Vesta und Ceres zu gewährleisten, fliegt DAWN beide Himmelskörper selbst an, sodass Messungen jeweils mit denselben Instrumenten durchgeführt werden. Es soll die innere Struktur, die Zusammensetzung der Oberfläche, genaue Größe, Form, Masse, Gravitation, Drehverhalten und die Drehachse untersucht werden. Zusätzlich soll eine Karte der Oberfläche entstehen. Eine solche Karte soll auch für die stoffliche Zusammensetzung erstellt werden. Ebenso will man verstehen, welche Rolle Wasser bei der Entwicklung beider Objekte gespielt hat. Über die Zusammensetzung von Vesta will man auch herausfinden, ob die Meteoriten der Klasse Howardite, Eucrite und Diogenite (HED) aus Vestas Material bestehen oder ob sie von einem anderen Objekt stammen. Die Krater und die eventuell auftauchenden Risse sollen ebenfalls untersucht werden, weil sie Rückschlüsse auf eventuelle vulkanische Aktivitäten geben können. [4]

3. Die Sonde

Um die Ziele der Mission erfolgreich zu erreichen war die Beteiligung vieler Ingenieure erforderlich. Beim Antrieb wurde hier von den Hydrazin-Triebwerken abgewichen und stattdessen kamen Ionentriebwerke zum Einsatz. Außerdem hat DAWN faszinierende Messgeräte, welche eine umfassende Datensammlung für die Charakterisierung beider Himmelskörper ermöglichen sollen.

3.1 Die Trägerrakete

Die Rakete, welche DAWN in das Sonnensystem brachte ist vom Typ Delta 2925H. Der Typ zeigt hier, dass die Rakete zur Familie der Delta-Raketen gehört, denn sie ist eine Variante der Delta II. Die Zahlen sind weitere Spezifikationen der Rakete. [4]

Diese Rakete besteht aus drei Stufen, um die Gravitation zu überwinden. Die erste Stufe bilden neun Feststoffraketenantriebe. Von diesen arbeiten erst nur sechs und

der Hauptantrieb. Nachdem die ersten sechs ausgebrannt sind beginnen die übrigen drei Antriebe zu brennen. Zusätzlich werden die ausgebrannten Mäntel der ersten sechs Antriebe dann abgeworfen, um Gewicht zu reduzieren. Wenn auch diese drei ausgebrannt sind und die gesamte erste Stufe abgeworfen wurde, zündet die zweite Stufe. Diese benutzt flüssigen Treibstoff. Nach etwa acht Minuten und 58 Sekunden schaltet sich die zweite Stufe ab. Die Rakete bleibt dann für 42 Minuten und 37 Sekunden abgeschaltet. Danach beginnt sie wieder zu brennen, bis der Antrieb sich nach 54 Minuten und 14 Sekunden abschaltet, wodurch sich die Rakete nun 184 Kilometer über der Erde befindet. Die zweite Stufe dreht dann den Antrieb der dritten Stufe und die Sonde mit 50 Umdrehungen pro Minute. Dadurch wird die dritte Stufe stabilisiert. Das gleiche Prinzip lässt sich auch im Sport beobachten. Ein American Football wird beim Wurf durch den Werfer in Rotation versetzt, wodurch der Ball eine stabilere und gleichmäßigere Flugbahn erhält. Nachdem der Star48 Antrieb der dritten Stufe ebenfalls ausgebrannt ist und die Rakete noch 4,7 Minuten weiterfliegt, aktiviert sich das Jo-Jo-System, um die Rotation zu reduzieren. Dieses System besteht aus zwei Seilen mit Gewichten an den jeweiligen Enden, welche sich nach Aktivierung austrecken. Hier gibt es wieder ein Beispiel aus dem Sport, denn Eiskunstläufer: innen benutzen denselben Effekt bei ihren Drehungen. Sie können die Geschwindigkeit durch das Ausstrecken ihrer Arme verlangsamen. So dreht sich DAWN schlussendlich auch mit drei Umdrehungen pro Minute in die entgegengesetzte Richtung.[4][5]

Abschließend wird die Sonde von der letzten Stufe getrennt und befindet sich dann im Weltraum.

3.2 Die Ionentriebwerke

Im Weltraum wird ein ausgestoßener Massestrom zur Fortbewegung benötigt. An diesem kann sich die Rakete infolgedessen abstoßen, und so Schub, also Bewegung, generieren. Ein solcher Strom kann zum Beispiel durch das Verbrennen von chemischen Gemischen erreicht werden. Bei DAWN wurde jedoch auf eine andere Methode gesetzt, um sich fortzubewegen.[6]

Es wurden Ionentriebwerke benutzt, die Xenon als Treibstoff verwenden. An Bord von DAWN befanden sich drei Triebwerke des Typs NSTAR mit einem

Durchmesser von je 30cm. Diese sind an 2 Achsen drehbar, sodass die Triebwerke auch zur Navigation genutzt werden können. [7]

Die Sonde hat 425kg Xenon in ihrem schweren Drucktank aus Titan. Das Edelgas wurde gewählt, weil es mit 131,293u eine hohe Atommasse besitzt, was zu mehr Schub führt. Außerdem ist es ein Edelgas und reagiert nicht mit dem Tank. Xenon hat zusätzlich den Vorteil, dass es ein Gas ist und daher vor der Ionisation nicht noch verdampft werden muss. [7][8]

Damit man das Xenon zur Beschleunigung nutzen kann, müssen die Atome erst ionisiert werden. Bei den Triebwerken des Typs NSTAR von Boeing, die DAWN verwendet, erfolgt die Ionisation durch Elektronenbombardierung mithilfe einer Kathode. Da eine Kathode normalerweise keine Elektronen emittiert, muss sie erst auf eine Temperatur gebracht werden, bei der Elektronen die Austrittsarbeit überwinden können. Wenn die Elektronen dann emittiert wurden, treffen sie auf das Xenon. Da die Elektronen zu dem Zeitpunkt eine hohe Bewegungsenergie haben, führt ein aufeinandertreffen dazu, dass ein Elektron aus der Hülle des Xenons entfernt wird. Das getroffene Atom ist nun ionisiert. Das Elektron, das aus der Hülle gelangte, kann dann weitere Atome ionisieren. Die ionisierten Atome werden anschließend durch das Anlegen eines elektrischen Feldes beschleunigt und so zum Austreten gebracht, wodurch der Massestrom entsteht. [8]

Bei dem Herausströmen der Ionen werden mithilfe von Neutralisatoren wieder Elektronen hinzugeführt, sodass sich die herausströmende Masse neutralisiert und keine Ionen vorhanden sind. [8]

Durch dieses Verfahren kann das Triebwerk einen maximalen Schub von 91 Millinewton erreichen. Gleichzeitig werden 3,25 Milligramm Xenon pro Sekunde verbraucht. Mit diesem Schub kann man gerade einmal ein Blatt Papier in der Hand halten. Zusätzlich müssen große Solarzellen verbaut werden, um den hohen Stromverbrauch des Antriebs zu kompensieren. Trotz des geringen Schubes und des hohen Stromverbrauches hat sich das Ionentriebwerk für DAWN durchgesetzt, denn es kann über lange Laufzeiten enorme Geschwindigkeiten erreichen, die für die Reise in den Asteroidengürtel benötigt werden. [7][8]

3.3 Die Messgeräte

Um die vielen wissenschaftlichen Ziele zu erreichen und um die Geheimnisse der Planeten zu lüften, sind bei DAWN auch verschiedene Messgeräte montiert. Diese haben vielfältige Aufgaben, wie die Zusammensetzung der Oberfläche zu bestimmen oder die Objekte zu kartografieren. Diese Messgeräte sind auch in internationaler Zusammenarbeit entstanden.

Die an DAWN montierten Telekommunikationsgeräte dienen nicht nur der Kommunikation, sondern ermöglichen auch die Messung der Gravitation der jeweiligen Objekte. Dadurch kann dann mithilfe von Berechnungen die jeweilige Zusammensetzung im Inneren bestimmt werden. [4]

3.3.1 Framing Cameras

Die Framing Cameras (FC) sind die deutsche Beteiligung an der Sonde, da sie unter der Leitung des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung entwickelt und gebaut wurden. [9]

Diese Instrumente dienen der Sonde zur Navigation und zur Charakterisierung der Objekte. Das bedeutet, dass die Bilder der Kameras Rückschlüsse auf Größe und Form zulassen. Außerdem kann man mit ihrer Hilfe bestimmen, ob Monde vorhanden sind. Zusätzliche können sichtbare Risse auf der Oberfläche zeigen, inwiefern vulkanische Aktivitäten vorliegen. Ferner haben die FCs die Funktion die groben mineralogischen Bestandteile herauszufinden. [9]

An Bord der Sonde befanden sich zwei Framing Cameras. Dadurch steht im Fall des Ausfalls einer Kamera noch eine weitere Kamera zur Verfügung. Sie funktionieren mithilfe eines CCD-Sensors. Diese Sensoren nehmen das Licht auf und wandeln es in Fotos um. Somit bilden sie das Herzstück der Kameras. Dieser Sensor wird durch zwei Radiatoren auf -60 Grad Celsius abgekühlt. Dadurch wird die Qualität der Bilder erhöht und folglich präziser gemessen.

Weil der Sensor sehr viel, aber auch sehr wenig Licht ausgesetzt ist, kann die Belichtungszeit des Sensors zwischen 1 ms und 3,5 Std betragen. Im Vergleich dazu beträgt die durchschnittliche Belichtungszeit bei herkömmlichen Kameras zwischen 0,125ms und 1s. Diese variable Belichtungszeit macht es möglich, bei allen Bedingungen scharfe Bilder aufzunehmen. Der Sensor hat eine Auflösung

von 1024x1024 Pixel, was einem Megapixel (MP) entspricht. Zum Vergleich haben Kameras in Smartphones eine Auflösung von 12 bis 50 MP. Dieser Unterschied lässt sich dadurch erklären, dass eine so große Auflösung für die Anforderungen die DAWN hat, ausreichend sind, um die Charakterisierung durchzuführen.

Vor dem CCD-Sensor befindet sich eine Blende, die Streulicht, welches durch Reflektionen des Lichtes am Inneren der Kamera entsteht, absorbiert. Dies verhilft den Framing Cameras zu besseren Bildern, weil der Störfaktor so eliminiert wird. Damit die groben mineralogischen Bestandteile bestimmt werden können, ist auch ein Filterradd mit sieben Filtern verbaut. Jeder Filter ist auf eine spezifische Wellenlänge angepasst, wodurch für jede Wellenlänge ein immer unterschiedlich gefärbtes Bild erzeugt wird. Von der Farbe kann man grob auf den mineralischen Bestandteil schließen, denn das reflektierte Licht ist für verschiedene Mineralien unterschiedlich. Das Max-Planck-Institut beschreibt es wie einen Fingerabdruck, der in das Weltall abgegeben wird. [9]

3.3.2 GRaND

GRaND ist ein Detektor für Gamma Strahlung und Neutronen. Es ist hilfreich, diese zu erfassen, denn durch sie kann man genauere Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der Oberfläche ziehen, da die Stärke der radioaktiven Strahlung zeigt, von welchem Element sie kommt. Hierbei ist zu beachten, dass die Strahlung aus dem obersten Meter der Oberfläche stammt, weil die Strahlung aus der Tiefe nicht entkommen kann.[10]

Gamma Strahlung kann auf zwei Wegen entstehen. Sie kann einerseits beim radioaktiven Zerfall von Elementen freigesetzt und dann gemessen werden. Andererseits kann sie bei Neutronenreaktionen entstehen, welche auch den Austritt von Neutronen zur Folge haben. Diese Neutronenreaktionen sind der entscheidende Prozess, der es ermöglicht die Bestimmung der Oberfläche so genau durchzuführen, denn die ins Weltall fliegenden Neutronen und die Gamma Strahlung geben starke Hinweise auf die Zusammensetzung der Oberfläche. [10]

3.3.2.1 Die Neutronenreaktion

Die Reaktion läuft so ab, dass kosmische Strahlung erst auf das Regolith, also die oberste Gesteinsschicht, trifft. Dort entsteht infolge von Wechselwirkungen

zwischen einem Atom und der Strahlung ein Neutron. Das dabei entstehende Neutron kann eine bestimmte Geschwindigkeit haben. Diese wird hierbei in Megaelektronvolt (MeV) angegeben. Die Neutronen sind je nach ihrer Energie in drei Kategorien eingeteilt. Sie geben ihre Energie durch Zusammenstöße im Regolith ab, sodass sie ungefähr die folgenden Phasen durchlaufen. [10]

Neutronen über 0.7 MeV werden als schnelle Neutronen kategorisiert. Im Regolith regen sie andere Atomkerne an, indem sie unelastisch mit ihnen zusammenstoßen. Dadurch wird Gamma Strahlung abgegeben, die dann gemessen werden kann. Sie reagieren gut auf die durchschnittliche Atommasse, aber nur, wenn Wasserstoff in sehr geringen Mengen vorhanden ist. GRaND misst hier auch, wie viele schnelle Neutronen aus der Oberfläche austreten. [10]

Die zweite Kategorie sind die epithermischen Neutronen. Ihre Energie ist im Bereich von 0,7 MeV bis 0,1 MeV. Dadurch stoßen sie elastisch mit den Kernen anderer Atome zusammen, was zu einer weniger starken Anregung führt, sodass keine Gamma Strahlung abgegeben wird. Trotz dessen verlieren sie, wie die schnellen Neutronen, beim Zusammenstoßen Energie. Neutronen in diesem Energiebereich reagieren empfindlich auf Wasserstoffatome und weniger empfindlich auf andere Hauptelemente, was sie zu guten Indikatoren für Wasserstoff macht. Deshalb ist es wichtig, dass GRaND hier die Rate an epithermischen Neutronen misst, die ins Weltall gelangen, denn die Menge an Wasserstoff gibt wichtige Rückschlüsse darauf, ob Wasser in der Oberfläche ist. [10]

Der dritte Energiebereich sind die thermischen Neutronen. Sie haben eine Energie, die kleiner ist als 0,1 MeV. Somit sind diese langsam und können von anderen Atomen absorbiert werden. Starke Absorber sind zum Beispiel Eisen, Titan, Stickstoff, Chlor, Gadolinium und Samarium, wobei die beiden zuletzt genannten seltene Erden sind. Zusätzlich wird bei der Aufnahme von Neutronen Gamma Strahlung abgegeben. Dadurch kann man in Verbindung mit dem Fluss an thermischen Neutronen mehr über die bereits beispielhaft genannten und ebenfalls anderen starken Absorber eine Erkenntnis gewinnen. [10]

3.3.2.2 Die Detektoren

GRaND misst die Gamma Strahlung mithilfe des Halbleiters Cadmium Zink Tellurid (CZT). Dieser Halbleiter detektiert die Strahlung durch Elektron-Loch-Paare. Dieses Paar besteht aus einem Elektron, welches sich durch die Energie der Strahlung aus dem Valenzband in das Leitungsband bewegt hat. Die zurückgelassene Stelle wird als Defektelektron oder Elektronenloch bezeichnet. Wenn, wie bei den CTZ-Detektoren ein elektrisches Feld angeschlossen wird, bewegen sich das Elektron und das Elektronenloch zu den jeweiligen Kontakten, und es wird Strom geleitet. Der dabei entstehende Puls zeigt je nach Höhe an, welches Element Strahlung abgegeben hat.[10][11]

Ein weiterer Detektor ist der Bismut Germanat Szintillator (BGO). Dieser besteht aus dem Bismut Germanat Kristall und einer Photomultiplier Tube (PMT). Der Kristall ist ein Szintillator und kann nach Anregung Licht abgeben. Hier wird der Kristall durch Gamma Strahlung angeregt, was zur Entstehung von Licht führt, welches in die PMT geleitet wird. Die PMT nutzt den äußeren photoelektrischen Effekt, also das Austreten von Elektronen aus einer Halbleiter- oder Metalloberfläche nach Bestrahlung, um das abgegebene Licht des Szintillators in messbaren Strom umzuwandeln. In der Tube vollzieht sich dieser Austritt an einer Kathode, die sich im Vakuum der PMT befindet. Nach dem Austritt aus der Kathode bewegt sich das Elektron zu einer Dynode (Elektrode), da diese ein etwas positiveres Potenzial hat. Dort gelangen durch Wechselwirkungen weitere Elektronen in das Vakuum. Hier multiplizieren sich die Elektronen, denn bei der nächsten Dynode mit einem Potenzial, was wieder etwas positiver ist, werden mehr Elektronen herausgeschlagen als zuvor, weil bereits mehr Elektronen vorhanden sind, die andere heraus schlagen können. Am Ende der Anordnung an Dynoden befindet sich die Anode. Die Elektronen fließen schlussendlich in die Anode und dort wird der elektrische Impuls gemessen, der durch die Elektronen generiert wird, wodurch das Element bestimmt werden kann. [10][12]

Zusätzlich hat DAWN zwei Bor-geladene Plastik Szintillatoren in L-Form. Diese dienen der Neutronendetektion und der Abschirmung vor kosmischer Strahlung. Die Neutronendetektion funktioniert im BLP so das schnelle Neutronen erst mit dem Wasserstoff im Plastik interagieren, wodurch der Szintillator ionisiert wird, was die Abgabe von Licht zur Folge hat. Das abgegebene Licht wird danach von

der jeweiligen PMT des BLP gemessen. Thermische und epithermische Neutronen werden durch eine Reaktion mit Bor eingefangen. Diese Reaktion hat als eines der Produkte messbares Licht, welches dann gemessen wird. Bei der Reaktion entsteht ebenfalls angeregtes Lithium, das wieder zurück in seinen Grundzustand fällt und dabei noch Gamma Strahlung abgibt. Die Gamma Strahlung kann dann vom BGO-Kristall gemessen werden, was für eingefangene Neutronen eine Koinzidenzsignatur erzeugt. Schnelle Neutronen erzeugen eine Doppelpulssignatur, denn es entsteht erst Licht durch die Interaktionen mit dem Wasserstoff und nach weiterer Energieabgabe wird es auch eingefangen und es entsteht der zweite Puls. Diese verschiedenen Signaturen helfen bei einer sicheren Detektion. [10]

Die letzten beiden Detektoren bestehen aus BLP-Szintillatoren, die in Gadoliniumfolie eingewickelt sind. Diese Folie schirmt den Detektor vor thermischen Neutronen ab. Die einzige Stelle an dem diese Neutronen hereinkönnen ist ein 0,2 cm dickes Glas, was Lithium enthält. Dieses Glas ist auch ein starker Absorber für thermische Neutronen. Wenn dies geschieht, läuft eine Reaktion ab, bei der messbares Licht entsteht. Das Licht wird von einer Phototube gemessen. Hier wird derselbe Effekt wie bei der PMT benutzt, jedoch erfolgt keine Verstärkung des Lichts. Das Lithium ist so ein starker Neutronenabsorber, dass im BLP nur epithermische Neutronen ankommen. Im BLP findet dann wieder die Einfangreaktion mit Bor ab. Dadurch entsteht dabei wieder die Koinzidenzsignatur mit dem BGO. Schnelle Neutronen werden durch das Plastik und die infolgedessen entstehende Doppelpulssignatur messbar gemacht. Somit werden hier die Neutronen von den drei Energiebereichen gemessen. [10][13]

3.3.3 VIR

VIR steht für Visual and Infrared Spectrometer, und es kann Licht in den Wellenlängenbereichen des infraroten bis zum nahen UV-Bereich aufnehmen. Diese Eigenschaft dient auch zur Bestimmung der Oberflächenzusammensetzung, denn das reflektierte Licht ist, wie bei den Framing Cameras (vgl. 3.3.1) bereits erläutert, ein Fingerabdruck, den man bestimmen kann. Damit auch das Infrarotlicht betrachtet werden kann, ist dieses Messgerät besonders wichtig. [14]

Infrarotlicht wird über Quecksilber-Cadmium-Tellur-Photodioden erfasst, die auf -203 Grad Celsius heruntergekühlt werden. Photodioden nutzen den inneren photoelektrischen Effekt. Das bedeutet, dass beim Bestrahlen durch Licht das Photon die Energielücke zwischen Valenzband und Leitungsband überbrückt, wodurch es zur Entstehung von Elektron-Loch-Paaren kommt. Da die Energie von Photonen im infraroten Bereich nicht so hoch ist, wird Quecksilber-Cadmium-Tellur als Halbleiter in den Photodioden genutzt, denn der Stoff hat eine kleine Bandlücke und eignet sich damit zur Messung. Insgesamt können so Wellenlängen im Bereich von 0,95 bis 5 Mikrometer gemessen werden. Ein CCD-Sensor erfasst zusätzlich den sichtbaren Bereich, den Bereich nahe dem UV-Licht und den Bereich nahe dem Infrarotlicht. Das entspricht den Wellenlängen zwischen 0,25 und 1 Mikrometer. [14][15]

3.4 Navigation

Um sich im Raum zu orientieren und die Solarzellen immer zur Sonne auszurichten, werden bei DAWN hauptsächlich zwei Sternverfolger eingesetzt. Zudem gibt es 16 Sonnendetektoren. Die beiden FCs werden, wie im zuvor erläuterten auch genutzt, um mithilfe ihrer Bilder zu navigieren. Ein weiteres System von dem Gebrauch gemacht wird, ist das Deep Space Network (DSN) der NASA. Bei dem System sind an drei Orten auf der Welt riesige Antennen aufgebaut, die so verteilt sind, dass das Signal nie verloren geht, wenn sich die Erde dreht, um Kommunikation zu der Sonde zu ermöglichen. [4][16][17]

Um tatsächlich die Lage der Sonde im Weltraum zu verändern, werden zum Teil auch die Ionentriebwerke benutzt, da diese an zwei Achsen bewegbar sind. Hauptsächlich verwendet die Sonde neben Triebwerken Reaktionsräder, um die Lage zu beeinflussen. Reaktionsräder sind viel genutzte Bauteile, welche durch eine Drehung von sich selbst die Drehung der Sonde und damit ihre Ausrichtung beeinflussen können. Dies lässt sich auch durch die physikalische Formel belegen.[18]

$$L = J \cdot \omega$$

Das Produkt aus Winkelgeschwindigkeit und Trägheitsmoment ergibt den Drehimpuls. Da laut dem Impulserhaltungssatz der Impuls konstant ist, muss die

Summe aus dem Impuls des Reaktionsrades und der Sonde konstant bleiben.

Somit gilt für den Impuls:

$$L_{Rad} + L_{Sonde} = konstant$$

Daraus folgt, dass, wenn sich das Reaktionsrad schneller dreht, sich die Sonde langsamer drehen muss, da die Summe konstant bleibt, wodurch ihre Ausrichtung beeinflusst wird. Ab einem gewissen Impuls kann die Drehung des Rades die der Sonde überwinden, was dazu führt, dass der Impuls der Sonde negativ wird und sich damit in die entgegengesetzte Richtung dreht. [19]

DAWN hat als Back-up der Reaktionsräder noch kleine Hydrazin Triebwerke verbaut. Jedes der zwölf Triebwerke bringt hierbei einen Schub von 0,9 Newton. Der einzige Moment, in dem sie planmäßig zum Einsatz kommen, ist kurz nach dem Start, um die Solarzellen zu der Sonne auszurichten. [4]

4. Ablauf der Mission

Die Mission in den Asteroidengürtel sollte ursprünglich schon viel früher als im September starten. Die Sonde war schon mit der Trägerrakete verbaut und die finalen Checks wurden am Startpunkt in Cape Canaveral durchgeführt. Schlussendlich konnte der Start im Juli aufgrund von konstant schlechtem Wetter und technischen Problemen nicht durchgeführt werden. [20]

Somit musste der Start verschieben und das Datum wurde auf September 2007 festgelegt. Danach wurden die Koordinaten für den Start berechnet und ein Fenster für den Flug bestimmt. Am elften September wurde DAWN wieder auf seinen Startplatz in Cape Canaveral gebracht. Der endgültige Start konnte infolge von weiteren Vorbereitungen und nach 14 Minuten Verzögerung durch ein Boot in der Safety Zone endlich stattfinden. [20]

In den ersten Monat im Weltraum wurden Tests der einzelnen Bauteile durchgeführt, um eine reibungslose Funktion sicherzustellen. Diese erste Testphase dauerte bis zum Ende des Jahres 2007 an. Hier musste auch ein Softwareupdate auf den Bordcomputer der Sonde heruntergeladen werden, weil in den ersten Tagen ein kleiner Bug entdeckt wurde. [20]

4.1 Interplanetare Kreuzfahrt

Nach allen Checks konnte am 17. Dezember 2007 die „Interplanetary Cruise“, also die interplanetare Kreuzfahrt, beginnen. Die Sonde flog bis April 2008 mit dem Schub der Triebwerke, weil zu diesem Zeitpunkt „Special Activities“ durchgeführt werden sollten. GRaND sollte Daten sammeln, um zu untersuchen, inwiefern die kosmische Strahlung Einfluss auf die Messungen hat. Die zweite Aktivität war die Aufnahme von Bildern mit dem VIR, da man so das Gerät mit Vergleichsobjekten kalibrieren kann. Neben diesem Test wurde den Kameras neue Software aufgespielt, die ebenfalls erprobt wurde. Zusätzlich zeigte eine Software, während eines Tests der Ionenantriebe einen Fehler an. Als das Team auf der Erde versuchte, das Problem zu beheben, wurde der Computer in den Safe Mode gesetzt, weil er gleichzeitig selbst versuchte, hat die Meldung zu verarbeiten. Die Sonde konnte aber zurück in den normalen Modus versetzt werden und am 14. April wurde der Antrieb durch die Iontriebwerke wieder aufgenommen. Das zu dem Zeitpunkt antreibende Triebwerk wurde am 30 Juli 2008 durch ein anderes Triebwerk ersetzt. Nach dem Wechsel flog die Sonde bis in den September weiter, wo die Triebwerke für Wartung kurz ausgeschaltet wurden. Danach sind sie für den Oktober, welcher der letzte Monat in diesem Jahr mit aktivem Antrieb war, noch angeschaltet und es wurde sich auf die Schwerkraftsunterstützung des Mars vorbereitet. [20]

Am 17. Februar 2009 flog DAWN am Mars vorbei. Dieser Vorbeiflug geschah in einer Entfernung von weniger als 550 Kilometern über der Oberfläche des Planeten. Von dort an begann eine lange Zeit, in der die Sonde den weiten Weg in den Asteroidengürtel zurücklegte. Je weiter sich die Sonde von der Sonne entfernte, desto kleiner wurde auch die elektrische Energie aus den Solarzellen. Daher griffen die Ingenieure auf die vorher entwickelten Stromsparmaßnahmen, wie weniger Schub der Iontriebwerke zurück. Bevor DAWN bei Vesta ankam, wurden noch finale Übungen und Tests durchgeführt, um zu gewährleisten, dass alles gut abläuft. Dabei wurde am 17. Juni 2010 bei einem der Reaktionsräder eine erhöhte Reibung auffällig, weshalb dieses abgeschaltet wurde. [20]

4.2 Vesta

Am dritten Mai 2011 erreicht die Sonde Vesta, ist jedoch noch etwa eine Millionen Kilometer von dem Asteroiden entfernt. Ab diesem Punkt wird die Geschwindigkeit zur sinkenden Distanz angepasst. Am 15. Juli 2011 gelangt DAWN in den Orbit von Vesta und ist jetzt nur noch 13000 Kilometer entfernt. Von dort aus nimmt die Sonde einen spiralförmigen Weg, um in den „Survey Orbit“ zu gelangen. [20]

Hier ist das primäre Ziel der Ingenieure, einen groben Überblick zu bekommen. Außerdem werden in diesem Orbit Bilder in den verschiedenen Wellenlängen durch das VIR gemacht. [21]

Nachdem der Orbit der ersten Phase vollendet ist, beginnt der „High Altitude Mapping Orbit“ (HAMO) in einer Höhe von 680 Kilometern. Auf dieser Höhe sollen mit dem VIR erneut Daten gesammelt werden. Außerdem sollen mithilfe der FCs topografische Karten entstehen, die Höhenunterschiede sichtbar machen. Obwohl das VIR und die FCs im Fokus stehen, sammeln GRaND und die Gravitationsmessungsgeräte auch Daten. [21]

Von dort aus fliegt DAWN wieder in spiralförmigen Bahnen, bis die Sonde bei einer Höhe von 180 Kilometern angekommen ist. Ab dem Punkt beginnt der „Low Altitude Mapping Orbit“ (LAMO). Im LAMO machen die FCs und das VIR erneut Bilder, welche nun in einer besseren Auflösung sind. Währenddessen findet die Hauptmessung durch GRaND statt. Auf dieser Höhe kann auch die Gravitationsmessung genauer durchgeführt werden. [21]

Als abschließender Orbit bei Vesta wird ein erneuter HAMO durchgeführt, dessen einziges Unterscheidungsmerkmal zum ersten der Zeitpunkt ist. So können andere Winkel und Flächen von der Sonne beleuchtet werden. Am Ende des Julis im Jahr 2012 sollte die Zeit bei Vesta enden, aber durch einen weiteren Ausfall aufgrund von erhöhter Reibung bei den Reaktionsrädern, verzögerte sich das Austreten auf den fünften September 2012. Hier mussten dann auch die Hydrazin Triebwerke zur Lagekontrolle eingesetzt werden. [20] [21]

4.3 Ceres

Am Anfang des Dezembers 2014 schießt DAWN das erste Foto von Ceres, was den Beginn der Annäherungsphase markiert. Diese Phase endet damit, dass die Sonde am 24. April 2015 in ihren ersten Orbit eintritt. Dieser Orbit ist ungefähr bei 13500 Kilometern Höhe und dient der wissenschaftlichen Charakterisierung. [20][22]

Nachdem dies vollendet ist, sinkt DAWN auf eine Höhe von 4430 Kilometern und sammelt weiter wissenschaftliche Daten in dem „survey science orbit“. Hier werden die FCs und das VIR eingesetzt. [22]

Nach der Beendigung des vorherigen Orbits verringert DAWN den Abstand zu Ceres weiter auf 1480 Kilometer und leitet damit einen HAMO ein. Es werden erneut Daten in höherer Auflösung gesammelt. [22]

Danach wird ein LAMO auf 375 Kilometern Höhe eingeleitet, in dem GRaND die Oberflächenzusammensetzung analysiert und die Antennen die Gravitation bestimmen. [22]

Schlussendlich wurde DAWNs Mission nach dem offiziellen Ende im Juni 2016 verlängert. Die Verlängerung wurde genutzt, um sich intensiver mit Ceres zu beschäftigen und noch bessere Bilder zu machen. Die Mission wurde im Oktober 2017 erneut verlängert, aber da ein drittes Reaktionsrad am 23. April 2017 ausfiel, wurde der Hydrazin Verbrauch zu hoch und so kam die Mission im Oktober 2018 zu ihrem Ende. [20]

5. Fazit

Die Mission DAWN in den Asteroidengürtel war, wie man aus den einzelnen Berichten von Marc Rayman entnehmen kann, ein großer Erfolg für die Wissenschaft und unser Verständnis über das Entstehen der Objekte. [20]

5.1 Erkenntnisse bei Ceres und Vesta

Bei beiden Himmelskörpern erfolgte eine Kartierung, wobei die Kartierung an Ceres durch die längere Verweildauer in besserer Qualität ist. Ebenfalls wurde die Oberflächenzusammensetzung und die Gravitation bestimmt, wodurch Rückschlüsse auf den inneren Aufbau gezogen werden können. Bei Vesta geht

man von einem Eisenkern aus, während bei Ceres ein gesteinsreicher Kern vorliegt. Es wurde bei Vesta außerdem bestätigt, dass die Meteoriten der Klasse HED wirklich von Vesta stammen. Auf Ceres wurden Krater mit Strukturen gefunden, welche im Licht weiß erscheinen und daher auch „helle Flecken“ genannt werden. Diese Strukturen sind Ablagerungen von Karbonaten, also Bindungen mit dem Karbonat Ion, oder anderen Salzen. Es scheint auf dem Zwergplaneten auch so, dass es in den höheren Breitengraden Eis gibt. Durch die Gravitations- und Topografiedaten konnten Wissenschaftler ableiten, dass sich die innere Differenzierung durch eine Trennung des Gesteins vom Wasser ergeben hat. So entstanden der feste Kern und eine wasserreiche Schicht unter dem Mantel. Es gibt zusätzlich noch Anzeichen für stattgefundene geologische Aktivitäten. Diese Beobachtung zeigt die eventuelle Rolle von Salzen in Wasser, da diese den Gefrierpunkt senken. Somit könnte man auch die Entwicklung anderer Objekte wie zum Beispiel Eisriesen neu betrachten. Neben diesen Dingen wurde auch Ammoniak, Kohlenstoffdioxid und Methan entdeckt. Besonders Ammoniak ist interessant, weil es zeigt, dass Teile von Ceres vom äußeren Sonnensystem stammen könnten und es gibt Interpretationsmöglichkeiten, dass es Umstrukturierungsprozesse im Sonnensystem gab. Die anderen beiden Stoffe sind oder waren möglicherweise Nahrung für Organismen. [23][24]

5.2 Persönliches Fazit

Insgesamt ist die Mission sehr bemerkenswert verlaufen. Vor allem die Antriebsweise durch die Ionentriebwerke hat mich interessiert. Sie haben diese Mission auch erst möglich gemacht, denn sie haben eine Geschwindigkeitsänderung von 41400 Kilometern pro Stunde vollbracht. Die Triebwerke haben dies geschafft, obwohl ihr maximaler Schub 91 Millinewtons beträgt. Diese Leistung ist mit unter einer der Gründe, warum die Sonde auch zwei Mal eine Verlängerung der Missionsdauer bekommen hat, denn zwei Reaktionsräder waren ausgefallen. Zusätzlich waren die Messgeräte, die sich in ihrer Funktionsweise komplexer als erwartet darstellten, faszinierend und haben der Mission die Aufnahme von bedeutenden Daten ermöglicht. [26]

Die wissenschaftlichen Errungenschaften können uns auch wichtige Einblicke und Hinweise für weitere Erkundungsmissionen geben. Zum Beispiel ist der bei Ceres festgestellte Salzgehalt wichtig für unser Verständnis von anderen Planeten oder

kleineren Objekten. Und vielleicht hat Elizabeth Landau Recht und in Zukunft kann mithilfe von Missionen dieser Art eine interplanetare Zwischenstation entstehen (vgl.2.3).

Zusammenfassend ist die Mission aus meiner Sicht ein Erfolg. Sie zeigt, welche technischen Möglichkeiten durch Ionenantriebe bestehen. Außerdem wurde weiter geforscht, wie sich die Planeten geformt haben könnten. Daher finde ich, dass DAWN zurecht den John L. „Jack“ Sigwert Jr. Preis für Weltraumerkundung von der Space Foundation verliehen bekommen hat. Als Abschluss beschreibt das Zitat von Marc Rayman am besten, was hier geleistet wurde [25]:

„For two centuries, dwarf planet Ceres and Vesta were seen as little more than faint dots of light amid the stars, until this bold mission provided us with richly detailed, intimate portraits of these two complex, fascinating alien worlds.” [25]

6. Literaturverzeichnis

Internetquellen

[1] Elizabeth Landau: Cosmic Detective Work: Why We Care About Space Rocks. Aus: <https://www.nasa.gov/solar-system/cosmic-detective-work-why-we-care-about-space-rocks/> Stand: 2018

[2] NASA: Dawn at Vesta. Aus: <https://assets.science.nasa.gov/content/dam/science/psd/solar/2023/09/d/dawn-vesta.pdf?emrc=699c6af219e01> Stand: 07.2011

[3] Amanda Barnett: Ceres Facts. Aus: <https://science.nasa.gov/dwarf-planets/ceres/facts> Stand: 22.04.2025

[4] NASA: Dawn Launch. Aus: <https://assets.science.nasa.gov/content/dam/science/psd/solar/2023/09/d/dawn-launch.pdf?emrc=69a1ae78d65c5> Stand: 09.2007

[5] Practical Engineering: Yoyo Despin for Spacacraft. Aus: [Yoyo Despin for Spacecraft — Practical Engineering](#) Stand: 12.03.2016

[6] Metin Tolan: Wie funktioniert der Raketenantrieb im luftleeren Raum? Aus: [Wie funktioniert der Raketenantrieb im luftleeren Raum? - SWR Kultur](#) Stand: 2026

[7] Amanda Barnett: Power On! Aus: [Ion Propulsion - NASA Science](#) Stand: 02.11.2024

[8] Bernd Leitenberger: Elektrische Antriebe in der Raumfahrt. Aus: [Elektrische Antriebe in der Raumfahrt](#) Stand: 10.06.2016

[9] Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung: The Camera System – Dawn's Eyes. Aus: [Cameras](#) Stand: Nicht bekannt

[10] Thomas H. Prettyman: DAWN'S GAMMA RAY AND NEUTRON DETECTOR (GRAND). Aus: [Dawn GRaND instrument description.pdf](#) Stand: 08.02.2021

[11] Nick Connor: Was ist Elektronen-Loch-Paar in Halbleitern – Definition. Aus: [Was ist Elektronen-Loch-Paar in Halbleitern - Definition](#) Stand: 28.12.2019

[12] BrainGain: Photomultiplier Tube | Optoelektronik. Aus: [Photomultiplier Tube | Optoelektronik](#) Stand: 26.12.2021

[13] Laser Scientist: The Basics of Phototubes in Photonics. Aus: [Phototubes - Laser Scientist](#) Stand: 2025

- [14] DLR: Dawn mission instruments. Aus: [Dawn mission instruments](#) Stand: Nicht bekannt
- [15] Serlo: Photoelektrischer Effekt. Aus: [Photoelektrischer Effekt - lernen mit Serlo!](#) Stand: Nicht bekannt
- [16] Amanda Barnett: Navigation. Aus: [Navigation - NASA Science](#) Stand: 03.11.2024
- [17] Jacqueline E. Zito: What Does the DSN Do? Aus: [What Does the DSN Do? - NASA](#) Stand: 09.02.2026
- [18] Lily Hulatt: Reaktionsräder. Aus: [Reaktionsräder: Funktion & Einsatz | StudySmarter](#) Stand: 27.01.2025
- [19] Leifiphysik: Drehbewegungen. Aus: [Drehimpuls | LEIFIphysik](#) Stand: Nicht bekannt
- [20] Marc Rayman: Mission Status. Aus: [Mission Status - NASA Science](#) Stand: 02.11.2024
- [21] NASA: Dawn at Vesta. Aus: [dawn-vesta.pdf](#) Stand: 07.2011
- [22] NASA: Dawn at Ceres. Aus: [dawn-ceres.pdf](#) Stand: 03.2015
- [23] Amanda Barnett: Dawn at Vesta. Aus: [Vesta - NASA Science](#) Stand: 03.11.2024
- [24] Amanda Barnett: Dawn at Ceres. Aus: [Ceres - NASA Science](#) Stand: 03.11.2024
- [25] Naomi Hartono: NASA's Dawn Mission Honored by Space Foundation. Aus: [NASA's Dawn Mission Honored by Space Foundation - NASA](#) Stand: 23.08.2023
- [26] Amanda Barnett: Dawn Toolkit. Aus: [Highlights - NASA Science](#) Stand: 03.11.2024

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: DAWN Mission Patch (<https://science.nasa.gov/resource/dawn-mission-patch/>)

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Facharbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Bramsche, den

Unterschrift des Schülers

Einverständniserklärung zur Veröffentlichung

Hiermit erkläre ich, dass ich damit einverstanden bin, wenn die von mir verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Bramsche, den

Unterschrift des Schülers