

## **Seminarfacharbeit**

# **Das James Webb Weltraum Teleskop Ziele und Verlauf der Mission**

Finn Grauert

27. Februar 2023

Astronomie 12

Herr Riemer

Abgabetermin: 15.03.2023, Bramsche



## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. Einführung.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Technische Daten.....</b>	<b>4</b>
2.1. Allgemeine Informationen über James Webb.....	4
2.1.1. Das Sonnensegel.....	4
2.1.2. Die Versorgungseinheit.....	4
2.1.3. Das Optische Teleskop Element (OTE).....	5
2.1.4. Der Hauptspiegel.....	6
2.1.5. Das ISIM.....	7
2.2. Die Hauptinstrumente.....	7
2.2.1. Near-Infrared Camera (NIRCam).....	8
<b>3. Die Geschichte James Webbs.....</b>	<b>11</b>
3.1. Kurze Zusammenfassung.....	11
3.2. Der Lagrange Punkt L2.....	11
<b>4. Ziele mit James Webb.....</b>	<b>13</b>
4.1. Die Erforschung des dunklen Zeitalters.....	13
4.2. Die Reionisierungsepoche.....	13
4.3. Weitere Ziele.....	14
<b>5. Errungenschaften von James Webb.....</b>	<b>15</b>
5.1. Das erste Bild eines Exoplaneten von James Webb.....	15
5.2. Forschungsergebnisse.....	15
5.2.1. Untersuchung des Stern WASP-96.....	15
5.2.2. Die „Pillars of Creation“ .....	16
<b>6. Fazit.....</b>	<b>17</b>
<b>7. Anhang.....</b>	<b>18</b>
Literaturverzeichnis.....	18
Abbildungsverzeichnis.....	21
7.1. Danksagung.....	22
7.2. Erklärungen.....	23
7.2.1. Selbständige Bearbeitung.....	23
7.2.2. Einverständnis zur Veröffentlichung.....	23

## **1. Einführung**

Astronomie und Teleskope sind seit über 400 Jahren eng miteinander verbunden und in der heutigen Zeit nicht mehr voneinander zu trennen. Die ersten Prototypen der Teleskope waren Fernrohre, welche um das Jahr 1608 entstanden und eine Vergrößerung mithilfe von Linsen erzielten ([29], [4]). In der heutigen Zeit haben Teleskope eine wichtige Position in der Astronomie, denn ohne sie wäre eine genauere Erforschung des Weltraums gar nicht möglich. Die Art des Einsatzes von Teleskopen lässt sich in zwei Kategorien unterteilen: Es gibt einmal den stationären Einsatz von Teleskopen auf der Erde, unter diesem lassen sich alle Teleskope, die von der Erde aus den Weltraum beobachten, klassifizieren, egal ob es sich um ein kleines mobiles Teleskop oder um ein fest positioniertes Großteleskop, wie etwa das „European Extremely Large Telescope“ [2], handelt. Die andere Kategorie setzt sich aus den Weltraumteleskopen, wie dem „Hubble Space Telescope“ und dem „James Webb Space Telescope“ als dessen Nachfolger zusammen. Diese befinden sich außerhalb der Erdatmosphäre und sind den auf der Erde befindlichen Teleskopen in einigen Punkten überlegen. So sind sie in ihrer Funktionalität nicht vom Wetter abhängig und können den Weltraum auch beobachten, wenn auf der Erde Tag oder der Himmel zugezogen ist. Die erzielten Bilder sind ebenfalls besser zu verwerten, da die durch die Atmosphäre auftretenden Verzerrungen im Nachhinein nicht korrigiert werden müssen. Ein weiterer großer Vorteil ist, dass im Weltraum die Lichtverschmutzung von der Erde das Weltraumteleskop nicht stört, im Gegensatz zu den auf der Erde befindlichen Teleskopen. Diese leiden unter der Lichtverschmutzung der Städte, die es erschwert Himmelskörper am Nachthimmel zu entdecken und zu erforschen [10].

Meine Facharbeit handelt vom aktuellsten und modernsten Weltraumteleskop, dem James Webb Weltraum Teleskop. Im genaueren werde ich mich mit einzelnen technischen Aspekten des James Webb

Teleskops beschäftigen. Bei den Hauptinstrumenten<sup>1</sup> von James Webb werde ich mich nur auf die NIRC*am* beziehen, da eine Erläuterung der kompletten Hauptinstrumente den Umfang der Facharbeit überschreiten würde. Danach unternehme ich einen kurzen Exkurs in die von Problemen geprägte Entwicklung von James Webb. Um die Gründe für die Entwicklung James Webbs besser nachvollziehen zu können, werde ich die Ziele des Weltraumteleskopes ebenfalls genauer erläutern, sowie die Errungenschaften, die sich aus den besonderen Entdeckungen von James Webb und den bereits vorliegenden Forschungsergebnissen zusammensetzen. Letzteres kann von mir jedoch nur spärlich behandelt werden, da der Start von James Webb erst ungefähr 1 Jahr zurückliegt und die Quellen, die sich mit diesem Thema befassen nur in geringer Zahl vorhanden sind. Diese Facharbeit setzt sich aus meinen Recherchen mithilfe mehrerer Internetquellen und einigen Schriftquellen zusammen, die alle im Quellenverzeichnis aufgeführt werden.

---

1 NIRC*am*, MIRI, NIRSpec, NIRISS

## **2. Technische Daten**

### **2.1. Allgemeine Informationen über James Webb**

#### **2.1.1. Das Sonnensegel**

Das James Webb Teleskop setzt sich aus vier Hauptsegmenten zusammen. Eines davon ist das Sonnensegel, welches für die Kühlung des Teleskops, auf 40 Kelvin ([6] S.15), und des ISIM's<sup>2</sup> verantwortlich ist. Es wurde so konzipiert, dass es die ungefähr 200kW starke Sonnenstrahlung auf einen Milliwatt-Bereich reduziert ([11] S. 88, [5]). Es setzt sich aus fünf Kapton<sup>3</sup>-Schichten, die mit Aluminium beschichtet sind, zusammen. Die zwei Schichten, die der Sonne am stärksten exponiert sind, wurden mit dotiertem Silizium verstärkt. Das Silizium wurde höchstwahrscheinlich mit Aluminium einer p-Dotierung unterzogen. Ob dies genau der Fall ist, konnte während der Recherche nicht genau ermittelt werden, jedoch ist die Hypothese für die p-Dotierung des Siliciums mit Aluminium naheliegend, da Aluminium häufig als Dotierungspartner für Silicium eingesetzt wird [16] & [12]. Die Dotierung wurde durchgeführt um die statische Aufladung der Folie zu verringern und um eine höhere Abstrahlung der Wärme zu erreichen [16]. Die immense Größe des Schilds von 21\*14 Metern ([29] & [13] S. 53) hat zur Folge, dass die Sonnenstrahlung einen Drehimpuls auf James Webb ausübt. Dieser Effekt wird durch den Winkel der Ausrichtung des Sonnenschildes minimiert, muss jedoch für die Aufrechterhaltung der Umlaufbahn mit der Zündung der Triebwerke ausgeglichen werden ([11] S.88).

#### **2.1.2. Die Versorgungseinheit<sup>4</sup>**

In der Versorgungseinheit befindet sich eine 471GB große Festplatte zur Speicherung der gesammelten technischen und wissenschaftlichen Daten. Als Backup können die Daten von bis zu zwei Tagen gespeichert werden

---

2 „Integrated Science Instrument Module“ beinhaltet die vier Hauptinstrumente James Webbs, sowie einen „Fine Guidance Sensor“ um eine aktive Steuerung der Ausrichtung des Teleskops zu ermöglichen, und schützt sie vor äußeren Demolierungen ([11] S. 76)

3 Markenname für Polyimide [29]

4 Der Unterkörper von James Webb

um bei einem fehlerhaften Datentransferversuch die Daten nicht zu verlieren und einen weiteren Transferversuch zu ermöglichen ([11] S.88). Die Zielvorrichtung für das Teleskop ist ebenfalls in der Versorgungseinheit verbaut und setzt sich aus drei „Star Trackern“ zusammen (einer als Redundanz<sup>5</sup>). Diese ermöglichen es dem Teleskop die angestrebten Beobachtungsziele, über einen als Orientierungspunkt ausgewählten Leitstern, zu erfassen ([11]S. 88). Weiter sind sechs Reaktionsräder<sup>6</sup> sind auf den Isolatoren am Schwerpunkt der Konstruktion angebracht um Störungen zu verringern und die Feinsteuerung der Lenkung zu entlasten ([11] S.88). Die Kommunikation zur Erde wird über zwei Rundstrahlantennen gewährleistet, die eine nahezu komplett kugelförmige Funkabdeckung zur Notfallkommunikation ermöglichen ([11] S.88).

### **2.1.3. Das Optische Teleskop Element (OTE)**

Es soll ISIM<sup>1</sup> ein gut korrigiertes Bild liefern. Um dies zu erreichen hat es eine Verstellmöglichkeit von 123 Grad und eine Verbundstruktur, die eine passive Störungsdämpfung sowie Figurenkontrolle ermöglicht. Das Bild wird mithilfe des 25m<sup>2</sup> großen ([11] S.82) und 6,5 Meter langen ([13] S.34) primären Spiegels, bestehend aus 18 einzelnen Spiegelsegmenten aus ultraleichtem wabenförmigen Berylliumscheiben ([5] S.31), eingefangen und über zwei kleine Spiegel<sup>7</sup> zur Bildebene weitergeleitet. Das dadurch erreichte Strehl Verhältnis<sup>8</sup> von 0.8 bei  $\lambda = 2\mu\text{m}$ , bietet eine sehr hohe Bildqualität mit einem großen Sichtfeld, sowie genug Platz für den „Guider“<sup>9</sup> und für die verbauten wissenschaftlichen Instrumente im ISIM ([11] S. 82). Diese sind so positioniert, dass die jeweiligen Sichtfelder der einzelnen Instrumente sich nicht überschneiden ([11] S. 85). Das Teleskop besitzt eine Brennweite von 131,4 Metern und eine Blendenzahl von 20. Jeder Detektor des ISIM erhält unabhängig die selbe Brennebene des Teleskops, so kann die Detektorplatte fürs jeweilige Instrument individuell

---

5 Anderes Wort für Ersatz oder Reserve

6 Zwei davon als Redundanz

7 Den Sekundären und Tertiären Spiegel

8 Maß für die Bildqualität eines Teleskopes, der beste zu erreichende Wert wäre 1 [28]

9 Richtet das Teleskop für das anvisierte Ziel aus (FGS)

das beste Maß fürs optische PSF<sup>10</sup> anwenden. Der FSM<sup>11</sup>, hinter dem tertiären Spiegel und vor der Brennebene zum ISIM positioniert, unterdrückt mit der geräuschunterdrückenden Versorgungseinheit den „Line-of-Sight-Jitter“<sup>12</sup> und erlaubt eine beugungsbegrenzte<sup>13</sup> Leistung bei 2 $\mu$ m. Das Design sowie die Steuerung wurden so optimiert, dass die Leistung auf dem gesamten FOV<sup>14</sup> ausgeglichen ist. Der aus den Residuen<sup>15</sup> der Optik entstandene WFE<sup>16</sup> ist nur ein kleiner Teil des gesamten WFE's des Teleskops. Der Großteil des WFE's stammt vom Herstellungsprozess und der Umweltbelastung der Umlaufbahn. Über das Feld der NIR-Cam<sup>17</sup> werden 131 nm als quadratisches Mittel<sup>18</sup> des WFE's erreicht. Dies ermöglicht die beugungsbegrenzte Leistung bei 2 $\mu$ m ([11] S.83). Die restlichen Instrumente wurden in Gebieten mit einem etwas höheren WFE positioniert, sie liegen jedoch alle noch im für die Instrumente benötigten WFE-Bereich. Die jeweiligen goldbeschichteten Spiegel haben einen spektralen Bandpass<sup>19</sup> von 0,6 bis 29 $\mu$ m ([11] S. 84).

#### **2.1.4. Der Hauptspiegel**

Der Hauptspiegel setzt sich aus 18 Berylliumspiegelsegmenten zusammen, die in der richtigen Ausrichtung wie ein Ganzer funktionieren. Der Primärspiegel wird ausgerichtet, indem die Spiegelsegmente über ihre sechs Freiheitsgrade (Dezentrierung auf x- und y-Achse, Neigung, Verschiebung auf der z-Achse, Drehung und Synchronisierung), sowie über eine weitere

---

10 „Punktspreizfunktion“ gibt an, wie ein idealisiertes, punktförmiges Objekt abgebildet werden würde [22]

11 Fine Steering Mirror, „Feinsteuerungsspiegel“

12 Eine Störung bei der Übertragung von Daten

13 Eine Optik ist so optimiert, dass die minimal auftretende Unschärfe, nur aufgrund der unvermeidbaren Beugung auftritt. Die Optik hat somit die Maximal erreichbare Schärfe erreicht

14 „Field of View“ Sichtfeld

15 Abweichung vom Gewünschten Ergebnis [27]

16 „Wave Front Error“ die Differenz zwischen einer Referenz-Wellenfrontphase, entweder eine konstante oder sphärische Phase, und der erfassten Wellenfrontphase des optischen Systems [9], wird benutzt um die Genauigkeit zwischen den erhaltenen Werten und dem Modell zu ermitteln [31]

17 Near-Infrared-Camera

18 Die Quadratwurzel des Quotienten aus der Summe der Quadrate der betrachteten Zahl [23]

19 Filter, der nur einen bestimmten Bereich des Lichtspektrums zum Instrument durchlässt

Steuerung, die speziell für das Krümmungsverhalten der Spiegel zuständig ist, verstellt werden. Die einzelnen Spiegelsegmente sind hexagonal geformt und jeweils 1,32 Meter lang ([11] S. 84). Über das Wavefront Sensor and Control Subsystem werden die einzelnen Spiegelsegmente so ausgerichtet, dass ihre Wellenfronten übereinstimmen und somit ein beugungsbegrenztes 6,6 Meter Teleskop entsteht, anstelle von überlappenden Bildern von 18 einzelnen 1,3 Meter Teleskopen ([11] S. 86).

### **2.1.5. Das ISIM**

Es wurde so konstruiert, dass die Geräte in einem 19.9m<sup>3</sup> großen Raum untergebracht werden und eine für die Kühlung benötigte Kühlerfläche von 8m<sup>2</sup> vorliegt ([11] S.86). Der Raum beinhaltet den FGS, den für die von der Erde bestimmten Beobachtungsziele zuständigen Computer und die wissenschaftlichen Instrumente für das Observatorium, sowie die unterstützende Elektronik für NIRCam , TFI<sup>20</sup>, NIRSpec<sup>21</sup> und MIRI<sup>22</sup>. Bei der Kühlung von MIRI und dessen Detektoren für Si und As<sup>23</sup>, wird ein Kryokühler verwendet ([11] S. 85). Das Datenverarbeitungs-, Wärme- und Energiesystem wurde auf eine simultane Nutzung der verbauten Instrumente ausgelegt ([11] S. 86). Dies wird zum Beispiel bei der parallelen Kalibrierung der Geräte benutzt. Dabei sind „dark flats<sup>24</sup>“ und mögliche „sky flats<sup>25</sup>“ miteingeschlossen ([11] S. 85).

## **2.2. Die Hauptinstrumente**

Das James Webb Teleskop setzt sich insgesamt aus vier Hauptinstrumenten, NIRCam, MIRI, NIRSpec und FGS/NIRISS zusammen, die den Wellenbereich von 0.6 bis 28µm abdecken ([13] S. 34). Vom roten Teil des sichtbaren Lichts, was etwa bei 0,38 bis 0,78µm liegt, bis hin zum mittleren Infrarot, das ungefähr bei 0,78 bis 1000µm liegt [29].

---

20 Tunable Filter Imager

21 Near-Infrared Spectrograph

22 Mid-Infrared Instrument

23 Silicium und Arsen

24 Verschiedene zusätzliche Einzelaufnahmen, die zu einem Gesamtbild zusammengefügt wurden und als Korrekturbild für gemachten Hauptaufnahmen zu dienen

25 Bei der Erstellung der Korrekturaufnahmen wurde auf eine Aufnahme mit einer speziellen Folie verzichtet und stattdessen eine Aufnahme ohne die Folie als Referenzmaterial herangezogen.

### **2.2.1. Near-Infrared Camera (NIRCam)**

Sie setzt sich aus einer Abbildungseinheit zusammen, die sich in einem Gehäuse im ISIM befindet. Die Abbildungseinheit setzt sich aus zwei identischen Einheiten zusammen, eine als Redundanz<sup>26</sup>, welche auf zwei Berylliumbänken montiert wurde.

Von der Abbildungseinheit aufgefangenes Licht wird vom Ablenkspiegel reflektiert und in den Kollimator geleitet, dieser bestimmt die Richtung des Strahlengangs und verändert diesen zu einem annähernd parallelen Strahlengang [18]. Der Kollimator leitet den nun parallelen Strahlengang, in den Dichroic-Filter<sup>27</sup>. Dieser spaltet das einfallende Licht in zwei Strahlen auf. Ein Strahl setzt sich aus dem kurzwelligeren Licht zusammen, für einen  $\lambda$ <sup>28</sup> von 0,6 bis 2,3 $\mu\text{m}$ , der zweite Strahl aus dem langwelligeren Licht, 2,4 bis 5 $\mu\text{m}$   $\lambda$  ([11]S. 90). Die beiden Strahlen durchlaufen dann jeweils eine Kombination aus Pupillen- und Filterrad. Jeder Strahl hat sein eigenes Paar, aus Doppelfilter- und Doppelpupillenrad, das er durchläuft ([11]S. 93). In diesen werden die einzelnen Lichtstrahlen nochmal nach genauerer Wellenlänge separiert. Die einzelnen Filter- und Pupillenräder haben eine Reihe von Mittel-, Schmalband- und Breitbandfiltern, sowie die „Waverfont Sensing and Control“ Optik, diese sind in Tabelle 1 nochmal genauer aufgeführt ([11]S. 93). Nach den Filtern durchlaufen die Strahlen die Korrekturoptik der Kamera und werden, nachdem sie von einer Faltfläche im kurzwelligen Strahl reflektiert wurden, auf die Detektoren abgebildet ([11] S. 91). Der beschriebene Vorgang der Separierung der Lichtstrahlen wird unter dem Fachbegriff des Wellenlängenmultiplexing erfasst ([11] S.90). Die einzelnen Abbildungen der Strahlen werden dann an die Erde gesendet und dort wieder zusammengesetzt um wichtige Informationen über bestimmte Eigenschaften der abgebildeten Objekte zu erhalten. Jedes Material hat seinen eigenen Wellenbereich an Licht den es reflektiert. Über das Einfangen und Separieren dieses Lichts lässt sich auf das vorliegende Material schließen

---

26 Eines der zwei Einheiten dient als Reserve (Redundanz)

27 Ähnlich wie ein Interferenzfilter

28 Kleinster Abstand zweier Punkte der gleichen Phase einer periodischen Welle

[25]. In der gesamten NIRCам sind insgesamt, mit den im redundanten System verbauten mit eingerechnet, 10 2k\*2k-Detektorchips verbaut. In beiden Einheiten ist für den kurzwelligen Detektor ein 2\*2 Mosaik aus den Detektorchips verbaut worden. Sie sind für den Wellenbereich von 0,6 – 2,3 $\mu$ m optimiert. Diese haben einen Abstand von ungefähr 3mm zu den benachbarten Detektoren. Es handelt sich um Quecksilber-Cadmium-Tellurid-Detektoren des Typs HAWAII II. Um Probleme mit kosmischer Strahlung zu vermeiden und eine höhere Empfindlichkeit bei Wellenbereichen unter 0,85 $\mu$ m zu erhöhen, fällt die Quecksilber-Cadmium-Tellurid-Schicht eher dünn aus ([11] S. 91). QCT<sup>29</sup> ist ein direkter Halbleiter, sowie ein Ausgangsmaterial für Infrarotsensoren. Die Anteile der Stoffe in ihm können variieren und wirken sich auf die Funktion des Halbleiters aus.

So sorgt eine Änderung des Cadmiumanteils für eine veränderte Wellenempfindlichkeit des Infrarotsensors [24].

Da James Webb verschiedene Beobachtungsziele anvisieren wird, werden verschiedene Verfahren benötigt um unterschiedliche Ziele anvisieren zu können. Eines dieser Verfahren ist die Koronographie, welche dazu benutzt wird um hellere Sterne, sowie deren Umgebung, genauer zu untersuchen [19]. Um eine Koronographenabbildung zu ermöglichen wird eine in der Brennebene mit einem festen Abstand zu den Detektoren positionierte ([11] S.93), Koronographenabbildungsmaskenplatte benötigt. Diese wurde vor den Koronographenplatten positioniert um dafür zu sorgen, dass die

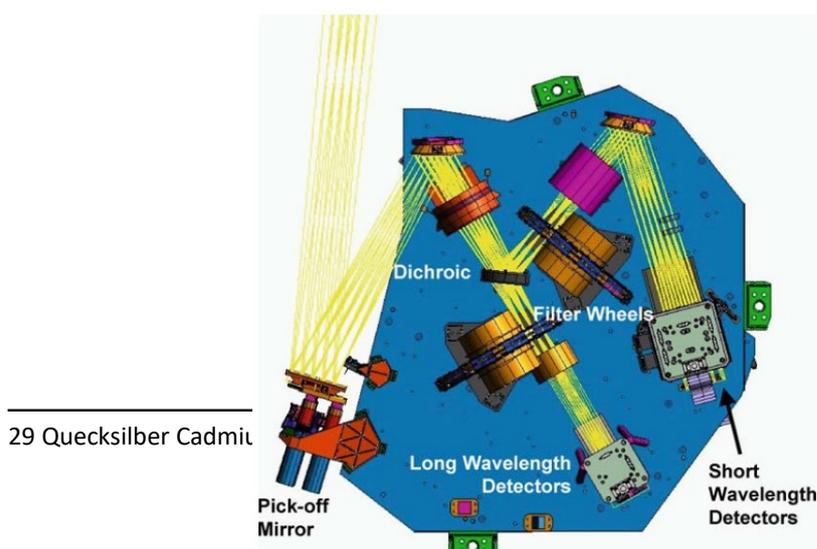
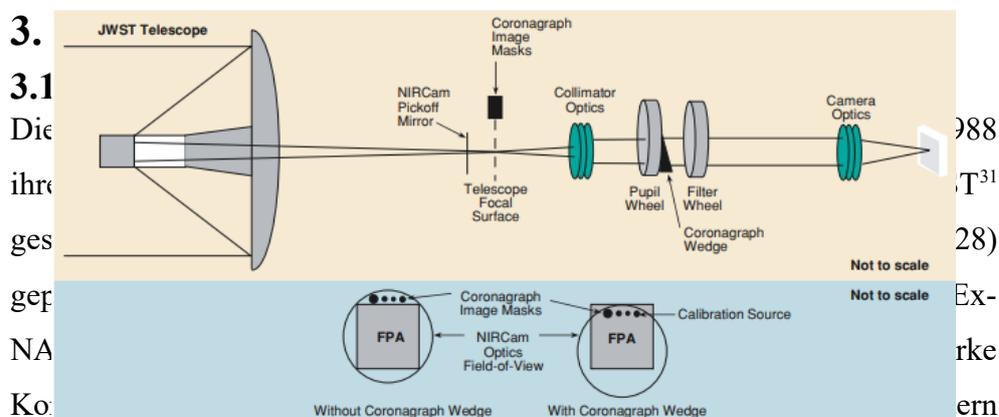


Abbildung 1. Eine der zwei Abbildungseinheiten der NIRCам [11]

Koronographenflecken der Koronographenplatten immer in der Detektorebene fokussiert sind. Die Koronographenplatten sind lichtdurchlässig und beinhalten eine Reihe an unterschiedlich großen Flecken, die den abzudeckenden Körper auf lineare Weise ausblenden oder über eine stark sinkende Weise. Diese sollen das Licht von einem hellen Objekt blockieren und abschwächen. Sie enthalten ebenfalls einen Neurdichtenfleck, der die Beobachtung und Zentrierung von hellen Sternen ermöglicht. Am Ende der Platten befinden sich Kalibrierungsquellen, die das Licht durch die optische Einheit zur Koronographenabbildungsmaskenplatte leitet um eine interne Ausrichtungsprüfung der Koronographenplatten zu ermöglichen. Die Koronographenplatten sind nicht im Strahlengang montiert, stattdessen wird ein, am Pupillenrad befestigter, optischer Keil in den Strahlengang gedreht. Dieser rechnet die Bildebene um, so dass die benötigten Koronographenplatten in den aktiven Detektorbereich verschoben werden. Einer auftretenden Beugung des Lichts kann mit einer Apodisierung [15] an der Pupillenmaske verringert werden. Deshalb sind an den Pupillenrädern apodisierte Pupillen mit integrierten Keilen, sowie klassische Pupillen mit integrierten Keilen befestigt. Somit entsteht ein Kontrast von ungefähr  $10^4$  bei 0.5 Bogensekunden und einer Wellenlänge von  $4,6\mu\text{m}^{30}$  ([11] S.94).



30 Höchstwahrscheinlich bedeutet es, dass die zu betrachtende Wellenlänge  $4,6\mu\text{m} \cdot 10^4$  mal heller ist als der herausgefilterte Rest

31 Next Generation Space Telescope

lediglich der Chef von NASA war und wegen Diskriminierung sexueller Minderheiten im Amt in der Kritik stand ([5] S. 29/30). Die Entwicklung von James Webb wurde immer wieder von Störungen und Fehlern heimgesucht ([5] S.27-37), sodass die Fertigstellung des Teleskops 14 Jahre länger  
soweit und James Webb konnte ins All geschickt werden ([5] S.37). Auf einer Ariane-5-Rakete befestigt ([13] S.34) wurde James Webb zum Lagrange Punkt L2 gebracht und umkreist diesen elliptisch um die dauerhafte Funktionalität der Solarzellen zu gewährleisten, dies wird auch Halo-Bahn genannt ([6] S.15).

### **3.2. Der Lagrange Punkt L2**

Die 5 Lagrange-Punkte befinden sich im System zweier Himmelskörper, zum Beispiel der Erde und der Sonne. Bei diesen Punkten können leichtere Objekte, wie ein Weltraumteleskop oder Asteroid, den massenreicheren Körper antriebslos umkreisen. Dabei hat er dieselbe Umlaufzeit wie der masseärmere Himmelskörper, hier im Beispiel die Erde. Seine Position, relativ zum Bezugssystem, ändert sich dabei nicht. An diesen Punkten stellt sich somit ein Gleichgewicht ein. Dieses Gleichgewicht stellt sich dadurch ein, dass die Zentrifugalkraft die Gravitationskraft der beiden Himmelskörper, hier im Beispiel die der Sonne und der Erde, ausgleicht [20]. James Webb befindet sich jedoch nicht direkt auf dem ungefähr 1,5 Millionen Kilometern entfernten ([5] S. 38) Punkt L2, sondern umkreist diesen auf einer Halo-Bahn. Es umkreist den L2 also elliptisch. Da James Webb nicht immer genau dieselbe Bahn umkreist, entstehen viele verschiedene Bahnen. Die daraus entstandenen Sphären der umkreisten Bahnen werden Halo genannt, daher die Bezeichnung Halo-Bahn. Während James Webb sich auf dieser Bahn befindet, wird es nicht sehr stark vom Lagrange-Effekt beeinflusst und muss immer wieder leichte Korrekturmaßnahmen durchführen um auf der Umlaufbahn zu bleiben [17]. Die Positionierung auf einer Halo-Bahn wurde vorgenommen, damit das Observatorium vom treibstoffsparenden Effekt des Lagrange-Punktes profitiert, und sich immer auf der Sonnenabgewandten Seite der Sonne

befindet. Daher kann das Observatorium bessere Infrarotaufnahmen machen, ohne, dass diese von der Helligkeit der Sonne verfälscht werden. Der Vorteil der Abwesenheit des Sonnenlichts ist jedoch gleichfalls ein Nachteil, da die Solarzellen die James Webb versorgen somit funktionsuntüchtig sind. Durch die Nähe zum L2 Punkt erfolgt der einzige regelmäßige Treibstoffverbrauch durch die Schubdüsen, die für die Korrekturmaßnahmen gezündet werden.

Dadurch wird eine prognostizierte Laufzeit von 20 Jahren ermöglicht, 10 Jahre länger als zuvor geschätzt ([6] S. 14).

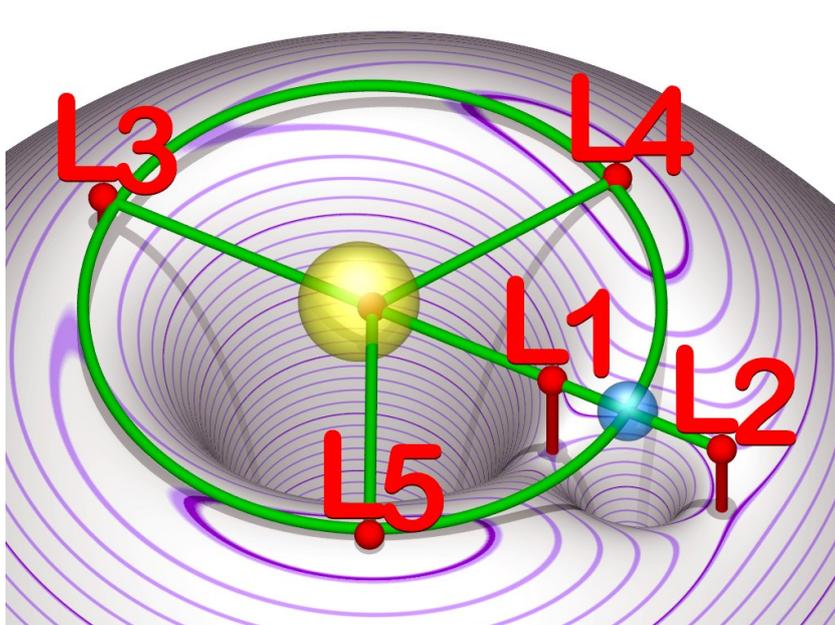


Abbildung 3. Die Fünf Lagrange-Punkte veranschaulicht [20]

## 4. Ziele mit James Webb

### 4.1. Die Erforschung des dunklen Zeitalters

Eines der Hauptziele des James Webb Teleskops ist die Erforschung des dunklen Zeitalters. James Webb soll die erste Beobachtung dieses Zeitalters ermöglichen ([5] S. 28). Damit soll James Webb mehr Informationen über die Entstehung des ersten Lichts und der Phase der Reionisation<sup>32</sup> liefern ([11] S. 9). Es wird versucht die Ionisierungsgeschichte des Universums genauer zu verstehen und die ersten leuchtenden Objekte zu identifizieren. Die ersten Lichtquellen sind für die Astronomie von sehr großer Bedeutung, da sie die Bildung der nachgefolgten Strukturen stark beeinflussten.

<sup>32</sup> Entstehungsprozess der Elemente

Ebenfalls leitet das Aufkommen der ersten individuellen Lichtquellen das Ende des dunklen Zeitalters ein, das durch die Abwesenheit des Lichts gekennzeichnet wurde. Durch die Erforschung der Lichtquellen versucht man den Prozess der Galaxie- und Haufenbildung besser verstehen zu können. Nach dem führenden Modell unterliegt die Entstehung der Galaxien und Haufen<sup>33</sup> einem hierarchischem Aufbau. Somit dienten die ersten Lichtquellen als Keimzellen für die folgende Bildung der größeren Objekte, wie etwa Riesengalaxien, bei denen sie dann den Kern bilden. Das dunkle Zeitalter ist für die Erforschung der Strukturbildung besonders günstig, da die Bildung der Strukturen mit dem Wachstum linearer Perturbationen<sup>34</sup> verbunden ist und die primordiale<sup>35</sup> Nukleosynthese<sup>36</sup> die Elementhäufigkeit der Objekte durch ihr Endprodukt festlegt.

#### **4.2. Die Reionisierungsepoche**

Die Materie des Universums beginnt sich wieder zu reionisieren. Zu Beginn wurden vor allem Wasserstoff und Helium ionisiert. Während der ersten Reionisierungsepoche konnte sich stabiler und neutraler Wasserstoff bilden. Die Bildungsrate des Wasserstoffes war höher als die Ionisierungsrate, daher setzte sich der Rekombinationsprozess des Wasserstoffes durch. Die Elektronen des Wasserstoffes wurden durch die Aufnahme von Photonen angeregt und sorgten dafür, dass das Universum für die Wellenlängen, die die Atome anregen, undurchlässig wird. Diese Phase wird auch Rekombinationsphase genannt. In der zweiten Phase konnte sich Wasserstoff durch die Bildung von neuen energiereichen Objekten wie Quasare und Population-III-Sterne ionisieren. Dadurch nimmt das Universum einen Zustand an, der in seiner Lichtdurchlässigkeit dem heutigen Universum ähnelt [26]. Population-III-Sterne gelten als wahrscheinlichster Grund für die Ionisierung des Wasserstoffes, da sie große Mengen an Photonen emittieren und leistungsfähig genug sind um diesen allein zu ionisieren. Ebenfalls ließe sich die Entstehung der schweren

---

33 „Cluster“ eine große Ansammlung an Galaxien

34 Anderes Wort Störung, die genauere Definition welcher Störung unterscheidet sich in bestimmten Fällen [21]

35 Anderes Wort für Ursprüngliche

36 Die Entstehung der Atomkerne im frühen Universum [30]

Elemente erklären. Da diese Population-III-Sterne in einer Supernova enden und bei dieser Supernovaexplosion können die schweren Elemente entstehen [26].

### **4.3. Weitere Ziele**

Des Weiteren soll James Webb im Bereich der generellen Stellarphysik Fortschritte erbringen, sowie in der Erforschung von Sternpopulationen. Es soll neue hochrotverschobene<sup>37</sup> Galaxien und kühlere Objekte wie Protonenzwerge und Braune Zwerge ([13]S. 34) entdecken und genauer erforschen ([13] S.36), sowie Aufschluss über die Chaotischen Vorgänge in Sternensystemen geben ([3] S. 53). Es wird sich auf die Suche nach den ersten Schwarzen Löchern gemacht, um herauszufinden wann und wie sie entstanden, welche Ursprungsmassen sie hatten, ob sie es über Verschmelzung mit anderen Schwarzen Löchern schafften, über Akkretion oder mit einer noch nicht bedachten Methode, diese Masse zu erreichen ([1] S.30). Ebenfalls werden extrem massereiche schwarze Löcher und unser Sonnensystem genauer untersucht ([13] S.36). Die Erforschung von Exoplaneten wird durch James Webb erst richtig möglich gemacht, da die Empfindlichkeit der Instrumente und der abgedeckte Wellenbereich Ideal zum Erfassen von Gas- und Staubeigenschaften bei terrestrischer Planetenentstehung ist. Es kann spezifische Banden von Molekülen wie Wasser (H<sub>2</sub>O), Zyanwasserstoff (HCN), Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Kohlenstoffmonoxid (CO) in der Atmosphäre und auf den Planeten entdecken und bestimmte Silikate nachweisen ([13]S.36).

## **5. Errungenschaften von James Webb**

### **5.1. Das erste Bild eines Exoplaneten von James Webb**

Der erste von James Webb aufgenommene Exoplanet ist der sehr heiße und 15-20 Millionen Jahre alte HIP 65426b, ein jupiterähnlicher Begleiter des Sterns HIP 65426 im Sternbild Zentaur. Dieser umrundet den Zentralstern mit einer Distanz von 100 Astronomischen Einheiten. Aufgrund der hohen Wärme ist er leicht für James Webb zu erfassen, wegen der hohen Distanz

---

<sup>37</sup> Über das Maß der Rotverschiebung lässt sich das Alter der Galaxien bestimmen, je höher dieser ausfällt, desto älter ist die Galaxie

zum Zentralstern kann der Stern mithilfe der Koronographenmaske abgedeckt werden, sodass nur das vom Planeten stammende Licht auf die Detektoren trifft. Da HIP 65426b jedoch ein Gasplanet ist und kein Stern, erreicht er nur ein Zehntausendstel der Helligkeit eines Sterns im nahen infrarot und im mittleren Infrarot sogar noch weniger. Die Beobachtung des Exoplaneten fand mit der NIRC*am* und MIRI statt, NIRC*am* machte Aufnahmen in niedrigen Wellenbereich von 3 und 4,44 $\mu\text{m}$  und MIRI bei 11,4 und 15,5 $\mu\text{m}$ . Der Exoplanet wurde schon vorher mit dem VLT<sup>38</sup> beobachtet, die Aufnahmen von James Webb dienten lediglich als Demonstration der Fähigkeiten. So kann James Webb Spektralbereiche erfassen, die von der Erde aus aufgrund der Emissionen in der Atmosphäre, nicht zugänglich sind [7].

## **5.2. Forschungsergebnisse**

### **5.2.1. Untersuchung des Stern WASP-96**

Während James Webb den Stern WASP-96 beobachtete, konnte der ihn umrundende Exoplanet WASP-96b über den spaltlosen Spektrographen NIRISS ([1] S. 27) einer Transmissionsspektrographie unterzogen werden. Dies gelang, indem WASP-96s Umlaufbahn relativ zu James Webb liegt, es sieht also die „Kante“ der Bahnebene des Systems. Die Transmissionsspektrographie erfolgte, indem der WASP-96 als Hintergrundbeleuchtung für den Exoplaneten WASP-96b fungierte und dieser bei seiner Umrundung das Licht des Sterns abschwächte, da dieses durch die, falls vorhandene, Gashülle des Planeten muss. Die Abschwächung des Zentralsterns durch WASP-96b betrug 1,4% ([1] S.29). Dieser Abfall der Helligkeit ermöglicht es Aussagen über die vorkommenden chemischen Elemente und Moleküle in der Atmosphäre, sowie über die Temperatur des Planeten zu treffen ([1] S. 27). Bei WASP-96b konnte so eine Temperatur von 725°C festgestellt werden, sowie Wasserdampf in der Atmosphäre. Ein starkes abflachen der Messergebnisse, bei kürzerer Wellenlänge, lässt sich auf die Abschirmung von Dunst und Wasserdampf zurückführen ([1] S.28).

---

38 Very Large Telescope

### **5.2.2. Die „Pillars of Creation“<sup>39</sup>**

Die, dreidimensionale, Säulengasformation ähnelt einer Felsformation und besteht aus kühlem interstellarem Gas. Mithilfe der NIRCам konnten die Säulen genauer ins Visier genommen werden, jedoch sorgt das Nahinfrarot dafür, dass die Säulen auf den Aufnahmen leicht durchsichtig wirken. Die Aufnahmen werden zur Verfeinerung und Überarbeitung der Modelle zur Sternentstehung genutzt. Es wird nach neuen entstandenen Sternen gesucht, sowie die Entwicklung der Gas und Staubmengen in der Region genauer betrachtet. Um ein besseres Verständnis davon zu erhalten wie die Sterne über Millionen von Jahren in den Säulen wachsen um dann aus ihnen heraus zu explodieren. Der Hauptfokus der Aufnahme lag somit auf den neu gebildeten Sternen. Es konnten jedoch auch Knoten in den Säulen aufgenommen werden, welche unter ihrer eigenen Schwerkraft, aufgrund der hohen angesammelten Masse, anfangen zu kollabieren. Dabei erhitzen diese sich langsam und bilden dann neue Sterne. Das Alter der neuentstandenen Sterne wird auf wenige hunderttausend Jahre geschätzt. Die wellenförmige Form in den Säulen wird von der, in den Materialwolken einschlagenden, Überschallstrahlung verursacht. Diese wird von den jungen Sternen in periodischen Abständen ausgestoßen [8].

---

<sup>39</sup> „Säulen der Schöpfung“

## **6. Fazit**

Das James Webb Weltraum Teleskop hat einen großen Fortschritt im Bereich der Weltraumteleskope errungen, es birgt das Potenzial in den verschiedensten, in der Astronomie vorkommenden Themen Erfolge zu erzielen. Man kann es zum Beispiel für die Erforschung von Exoplaneten, sowie zur Erforschung von schwarzen Löchern und sehr weit entfernten Galaxien einsetzen. Schon kurz nach dem Start sorgte James Webb für Unruhen in der Astronomie, als es hieß es habe die Urknalltheorie widerlegt, indem voll ausgebildete Galaxien entdeckt wurden, die diesen Zustand schon wenige 100 Millionen Jahre nach dem Urknall erreichten. Obwohl ein Grund für diese so früh schon ausgewachsenen Galaxien bis jetzt noch nicht festgestellt werden konnte, hat die Existenz dieser Galaxien den Urknall jedoch nicht widerlegt [14].

Die umfangreiche technische Ausstattung von James Webb verspricht viele bahnbrechende, zukünftige Erkenntnisse. Da diese Facharbeit jedoch knapp ein Jahr nach dem Start der Beobachtung von James Webb verfasst wurde, ist es mir nicht möglich gewesen detailliert auf die Forschungsergebnisse von James Webb einzugehen, da nur sehr wenige Information über neu Erkenntnisse vorhanden sind. Aufgrund der technischen Mittel und gewählten Beobachtungszielen von James Webb lässt sich aber davon ausgehen, dass beeindruckende Erfolge und Entdeckungen zu erwarten sind.

## **7.Anhang**

### **Literaturverzeichnis**

[1] Andreas Müller. Die ersten Aufnahmen des James-Webb-Weltraumteleskops.  
*Sterne und Weltraum Oktober, 2022*

[2] Bundesministerium für Bildung und Forschung.  
<https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/naturwissenschaften/grossgeraete/e-elt/e-elt.html> Stand 13.03.2023

[3] Clara Moskowitz und Jen Christiansen. Wie die JWST-Bilder entstehen  
*Spektrum der Wissenschaft März, 2023*

[4] Cosmos-indirekt.de.  
<https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Teleskop> Stand 13.03.2023

[5] Dietrich Lemke. Das James Webb Space Telescope: Von der Idee zur Mission  
*Sterne und Weltraum Februar, 2022*

[6] ESA und NASA. Das James Webb Space Telescope ist am Ziel  
*Sterne und Weltraum April, 2022*

[7] ESA. Erstes JWST-Bild eines Exoplaneten  
*Sterne und Weltraum September, 2022*

[8] James Webb Discovery.com.  
<https://www.jameswebbdiscovery.com/discoveries/stellar-nursery-of-the-pillars-of-creation-revealed-by-james-webb-telescope> Stand 13.03.2023

[9] Lighttrans.com.  
[https://www.lighttrans.com/fileadmin/shared/UseCases/Feature\\_UC\\_Wavefront\\_Error\\_Detector.pdf#:~:text=Wavefront%20error%20is%20defined%20as%20the%20difference%20between,handle%20a%20wavefront%20error%20detector%20in%20VirtualLab%20Fusion](https://www.lighttrans.com/fileadmin/shared/UseCases/Feature_UC_Wavefront_Error_Detector.pdf#:~:text=Wavefront%20error%20is%20defined%20as%20the%20difference%20between,handle%20a%20wavefront%20error%20detector%20in%20VirtualLab%20Fusion). Stand 13.03.2023

[10] Science19.com.  
<https://science19.com/what-advantages-do-space-telescopes-have-over-telescopes-used-on-earth-323#:~:text=Welche%20Vorteile%20haben%20Weltraumteleskope%20gegenüber%20Teleskopen%20auf%20der,einen%20Standort%20für%20ein%20Observatorium%20zu%20wählen.%20> Stand 13.03.2023

[11] Springer Link. The James Webb Space Telescope  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11214-006-8315-7> Stand 13.03.2023

[12] StudySmarter.  
<https://www.studysmarter.de/schule/physik/elektrizitaetslehre/dotierung/>  
Stand 13.03.2023

[13] Thomas Henning. Das James Webb Teleskop eine persönliche Annäherung

*Sterne und Weltraum März, 2022*

[14] Tim Ruster. James Webbs kuriose Galaxien: Doch kein Urknall?

<https://tim-ruster.de/james-webbs-kurioese-galaxien-doch-kein-urknall/>

Stand 13.03.2023

[15] Wikipedia. Apodisation

<https://de.wikipedia.org/wiki/Apodisation/> Stand 13.03.2023

[16] Wikipedia. Dotierung

<https://de.wikipedia.org/wiki/Dotierung> Stand 13.03.2023

[17] Wikipedia. Halo Orbit

<https://de.wikipedia.org/wiki/Halo-Orbit> Stand 13.03.2023

[18] Wikipedia. Kollimator

<https://de.wikipedia.org/wiki/Kollimator> Stand 13.03.2023

[19] Wikipedia. Koronograf

<https://de.wikipedia.org/wiki/Koronograf> Stand 13.03.2023

[20] Wikipedia. Lagrange-Punkte

<https://de.wikipedia.org/wiki/Lagrange-Punkte> 13.03.2023

[21] Wikipedia. Perturbation

<https://de.wikipedia.org/wiki/Perturbation> Stand 13.03.2023

[22] Wikipedia. Punktspreizfunktion

<https://de.wikipedia.org/wiki/Punktspreizfunktion> Stand 13.03.2023

[23] Wikipedia. Quadratisches Mittel

[https://de.wikipedia.org/wiki/Quadratisches\\_Mittel](https://de.wikipedia.org/wiki/Quadratisches_Mittel) Stand 13.03.2023

[24] Wikipedia. Quecksilber-Cadmium-Tellurid

<https://de.wikipedia.org/wiki/Quecksilber-Cadmium-Tellurid> Stand 13.03.2023

[25] Wikipedia. Reflexionsgrad

<https://de.wikipedia.org/wiki/Reflexionsgrad> Stand 13.03.2023

[26] Wikipedia. Reionisierungsepoche

<https://de.wikipedia.org/wiki/Reionisierungsepoche> Stand 13.03.2023

[27] Wikipedia. Residuum

<https://de.wikipedia.org/wiki/Residuum> Stand 13.03.2023

[28] Wikipedia. Strehl-Zahl

<https://de.wikipedia.org/wiki/Strehl-Zahl#:~:text=Die%20Strehl-Zahl%20oder%20das%20Strehl-Verh%C3%A4ltnis%20ist%20ein%20Ma%C3%9F,Intensit%C3%A4t%20einer%20Punktquelle%20in%20der%20Bildebene%20zur%20> Stand 13.03.2023

[29] Wikipedia. Teleskop

<https://de.wikipedia.org/wiki/Teleskop> Stand 13.03.2023

[30] Wikipedia. Urknall

[https://de.wikipedia.org/wiki/Urknall#Primordiale\\_Nukleosynthese](https://de.wikipedia.org/wiki/Urknall#Primordiale_Nukleosynthese)  
Stand 13.03.2023

[31] Wolfram Math World. Merit Function

<https://mathworld.wolfram.com/MeritFunction.html#:~:text=A%20merit%20function%2C%20also%20known%20as%20a%20figure-of-merit,function%20is%20small%20when%20the%20agreement%20is%20good>. Stand 13.03.2023

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1. Eine der zwei Abbildungseinheiten der NIRCam [11].....9  
Abbildung 2. Schematische Darstellung des Koronographen-Designs [11].....10  
Abbildung 3. Die Fünf Lagrange-Punkte veranschaulicht [20].....12

### **7.1. Danksagung**

Ich möchte meinem Kursleiter Florian Riemer danken dafür ,dass er im Rahmer der Bearbeitungszeit mir immer für jegliche Fragen offenstand und damit für einige Entlastungen während der Anfertigung meiner Facharbeit sorgte. Sowie für die umfangreiche Menge an Lektüre die ich für die Bearbeitung meiner Facharbeit durch ihn bereitgestellt bekommen habe.

## **7.2. Erklärungen**

### **7.2.1. Selbständige Bearbeitung**

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken (auch aus dem Internet) entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe. Verwendete Informationen aus dem Internet sind nach Absprache mit der Fachlehrerin bzw. dem Fachlehrer vollständig im Ausdruck zur Verfügung zu stellen.

Bramsche den 13.03.2023

X

---

Unterschrift des Schülers

### **7.2.2. Einverständnis zur Veröffentlichung**

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

X

---

Unterschrift des Schülers