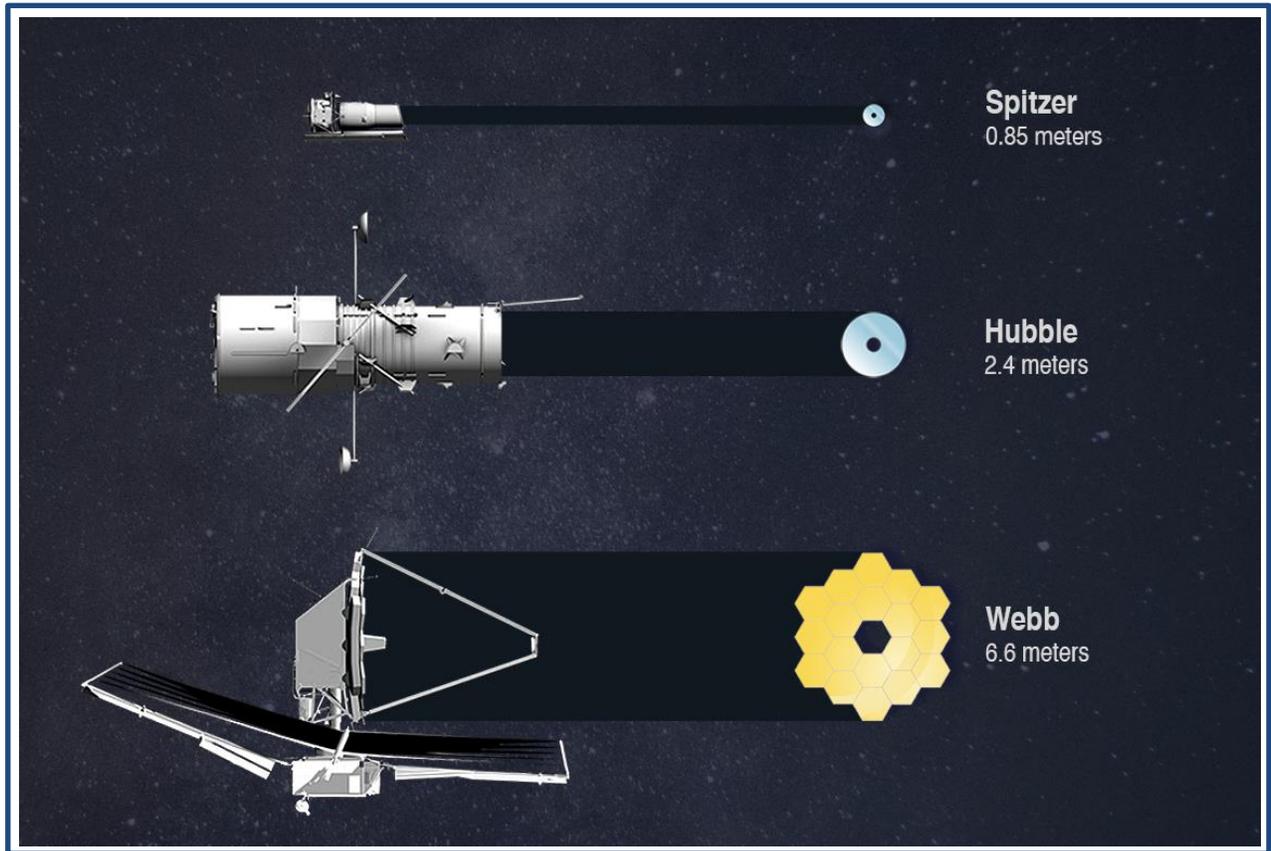


# Von Galileo bis JWST



# Von Galileo bis JWST

## Teleskope über die Jahrhunderte

### Kurzbeschreibung

Die Entwicklung des Teleskops war ein großer Fortschritt für die Astronomie. Auch heute noch beziehen wir fast alle Informationen, die wir über den Weltraum bekommen über Teleskope. Beginnend mit den bahnbrechenden Entdeckungen von Galileo Galilei bis hin zu den modernsten Innovationen des James Webb Space Teleskopes (JWST). In diesem Arbeitsblatt unternehmen wir eine zeitliche Reise durch die Jahrhunderte, um die unterschiedlichen Teleskoptypen zu entdecken. Durch die Beantwortung von Fragen, dem Vergleichen von Teleskop-Designs und dem Berechnen der Auflösungsvermögen erhalten die Schüler\*innen einen umfassenden Einblick in die faszinierende Welt der astronomischen Beobachtung.

### Eckdaten

**Fach:** Physik, Astronomie

**Jahrgangsstufe:** ab 8. Klasse

**Typ:** Vortrag, aktive Teilnahme, Diskussion

**Schwierigkeitsgrad:** Leicht

**Zeitraumen:** 90 Minuten

**Kosten:** niedrig

**Ort:** Klassenraum (als Online-Unterricht durchführbar)

**Materialien:** Schreibmaterialien, Taschenrechner, Geodreieck, ggf. Internetzugang für Recherchen

**Schlüsselwörter:** Physik, Astronomie, Galileo-Galilei, Teleskope, Hubble, James-Webb, Weltraumteleskope, Spitzer, Mathematik [Bruchrechnung]

## Lernziele

Die Schüler\*innen lernen die verschiedenen Arten von Teleskopen kennen, einschließlich ihrer spezifischen Designs, wie zum Beispiel Linsen- und Spiegelteleskope. Anhand vorgefertigter Skizzen können sie Strahlengänge einzeichnen und erhalten so Einblick in das Innere eines Teleskops. Auch sollen sie die verschiedenen Vor- und Nachteile verschiedener Teleskop-Technologien vergleichen und verstehen, was Weltraumteleskope für eine Bedeutung haben.

Aus mathematischer Sicht lernen die Schüler\*innen ordentlich und genau zu arbeiten, sowie einfache Bruchrechnungen zu lösen. Dadurch wird ihnen auch gezeigt, was das Auflösungsvermögen eines Teleskops bedeutet und was Weltraumteleskope für Details wahrnehmen können.

Die Schüler\*innen sollen ebenfalls lernen, ihre Ergebnisse zu präsentieren und untereinander zu diskutieren.

## Zusammenfassung der Aufgaben

Aktivität	Titel	Beschreibung	Ergebnis	Voraussetzung	Dauer
1	Spiegel- und Linsenteleskope	Die Schüler*innen müssen den vorgegebenen Text sorgfältig lesen und Informationen daraus ziehen. Danach müssen sie Strahlengänge einzeichnen. Zuletzt müssen Sie über eine Diskussion oder eine Internetrecherche mehr über Teleskope herausfinden.	Die Schüler*innen lernen ordentlich und sorgfältig zu lesen und zu arbeiten. Der letzte Aufgabenteil soll das kreative Nachdenken fördern und zeigen, was die Schüler für Vorstellungen von Teleskopen haben.	Optik, Verhalten von Lichtstrahlen an Linsen und Spiegeln	35 - 45 Minuten
2	Spiegelteleskope und ihr Strahlenverlauf	Die Schüler*innen sollen hier noch einmal an komplexeren Teleskoparten den Strahlengang einzeichnen.	Die Schüler*innen vertiefen ihre Kenntnisse in der Optik und lernen die Geometrie und den Verlauf komplexerer Strahlengänge.	Verhalten von Lichtstrahlen an spiegelnden Oberflächen	10 - 15 Minuten

3	Auflösungsvermögen der Teleskope	Die Schüler*innen bestimmen anhand der technischen Eigenschaften ausgewählter Teleskope das Auflösungsvermögen der einzelnen Teleskope und vergleichen die Ergebnisse mit dem menschlichen Auge.	Die Schüler*innen lernen über die Limitierungen von Teleskopen und dadurch, dass in einer Aufnahme des Weltalls nicht alle Objekte, die vorhanden sind, sicher gesehen werden können. Das sichtbare Universum entspricht nicht dem gesamten Universum	Bruchrechnung, Zahlenwerte in eine Formel einsetzen und lösen	25 - 35 Minuten
---	----------------------------------	--	---	---	-----------------

## Einleitung

Dieses Arbeitsblatt dient dem Zweck, den Schüler\*innen mithilfe von einem interessanten astronomischen Thema nicht nur Astronomie näher zu bringen, sondern auch ihr physikalisches und mathematisches Wissen zu erweitern und Lernaspekte des Curriculums zu vertiefen.

Das James-Webb-Weltraum stellt einen wichtigen Bestandteil der aktuellen Forschung dar, von denen die Schüler\*innen schon in ihrem Alltag gehört haben. Somit bietet es einen guten Einstieg in weiterführende astronomische Themen, da es den Schüler\*innen einen ersten Einblick in astronomische Forschungsfelder bietet.

Wenn Sie Fragen oder Anmerkungen zu diesem Arbeitsblatt oder weiteren von uns bereitgestellten Lehrmaterialien haben, melden Sie sich bitte unter [esero@astro.rub.de](mailto:esero@astro.rub.de) . Wir helfen Ihnen gerne weiter!

## Grundlagen 1: Galileo und Teleskope

Galileo Galilei war ein bedeutender italienischer Wissenschaftler und Mathematiker des 17. Jahrhunderts. Er ist vor allem für seine bahnbrechenden Entdeckungen im Bereich der Astronomie bekannt. Eine seiner bedeutendsten Erfindungen war das Linsenteleskop.

Galileo Galilei entwickelte das Linsenteleskop im Jahr 1609. Durch die Kombination von zwei konvexen Linsen konnte er Licht sammeln und es auf einen Brennpunkt fokussieren. Dadurch war es ihm möglich, weit entfernte Objekte, wie zum Beispiel die Sterne und den Mond, genauer zu beobachten.

Mit seinem Linsenteleskop konnte Galileo Galilei zahlreiche Entdeckungen machen, die unsere Sicht auf das Universum revolutionierten. Er beobachtete zum Beispiel die Krater auf dem Mond, die Phasen des Planeten Venus und die Monde des Jupiters. Diese Beobachtungen widerlegten die damals vorherrschende geozentrische Vorstellung vom Universum und unterstützten die heliozentrische Theorie von Nicolaus Copernicus.

Galileo Galileis Erfindung des Linsenteleskops hatte einen enormen Einfluss auf die Astronomie und die wissenschaftliche Forschung im Allgemeinen. Sie ermöglichte es, den Himmel genauer zu erforschen und neue Erkenntnisse über das Universum zu gewinnen.

### **Das Linsenteleskop (Refraktor):**

Ein einfaches Linsenteleskop besteht aus einer Objektivlinse, einem Okular, einem Rohr und einer Montierung. Das einfallende Licht wird in der Objektivlinse (auch Sammellinse genannt) gesammelt und trifft im Brennpunkt aufeinander. Dies geschieht durch Lichtbrechung, auch Refraktion genannt. Die Lichtstrahlen laufen dann zum Okular, das ebenfalls eine Sammellinse ist, und von da aus wieder parallel zum Beobachter.

### **Das Spiegelteleskop (Reflektor):**

Das Spiegelteleskop wurde von Sir Isaac Newton im Jahr 1668 erfunden. Er entwickelte das Konzept eines Teleskops, bei dem anstelle einer Linse ein konkaver Spiegel (Hauptspiegel) verwendet wird, um das einfallende Licht zu sammeln und zu fokussieren. Nach seinem Erfinder wird das Spiegelteleskop auch Newton-Teleskop genannt.

Zusätzlich zu dem Hauptspiegel enthält ein Spiegelteleskop auch immer einen zweiten Spiegel (Fangspiegel), der das Licht seitlich aus dem Teleskop raus- und in das Okular leitet.

Dadurch, dass das Okular seitlich angebracht werden kann, verringert sich die Gesamtlänge des Teleskopes.

## Aktivität 1 – Spiegel- und Linsenteleskope

In dieser Aktivität werden die Schüler\*innen sich mit den Grundlagen des Themas vertraut machen, indem sie den oben beschriebenen Text lesen. Danach sollen die Schüler\*innen durch ihre Kenntnisse der Optik grundlegende Strahlengänge einzeichnen und die Bauteile beschriften.

Zuletzt sollen die Schüler\*innen durch Überlegen in Gruppen oder Klassen oder durch eine Internetrecherche herausfinden, was die Unterschiede der beiden Teleskoparten sind und warum Spiegelteleskope besser für die Astronomie sind.

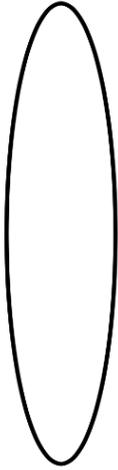
### Material

Schreibmaterial, Geodreieck

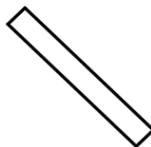
### Aufgabe

- a) Lies den oberen Text und beschreibe den Unterschied zwischen Spiegel- und Linsenteleskopen
- b) Beschrifte die Einzelteile der unten aufgezeichneten Teleskope und zeichne die Lichtstrahlen ein
- c) Warum werden in der Astronomie hauptsächlich Spiegelteleskope verwendet?

## Linsenteleskop



## Spiegelteleskop



## Aufgabe – Ergebnis

- a) Ein einfaches Linsenteleskop besteht aus einer Objektivlinse, einem Okular, einem Rohr und einer Montierung. Das einfallende Licht wird in der gesammelt und trifft im Brennpunkt aufeinander. Dies geschieht durch Lichtbrechung. Die Lichtstrahlen laufen dann zum Okular, das ebenfalls eine Sammellinse ist, und von da aus wieder parallel zum Beobachter.

Beim Spiegelteleskop wird anstelle einer Linse ein konkaver Spiegel verwendet, um das einfallende Licht zu sammeln und zu fokussieren. Zusätzlich zu dem Hauptspiegel enthält ein Spiegelteleskop auch immer einen zweiten Spiegel, der das Licht seitlich aus dem Teleskop raus- und in das Okular leitet. Dadurch, dass das Okular seitlich angebracht werden kann, verringert sich die Gesamtlänge des Teleskopes.

- b) Siehe nachfolgende Zeichnung
- c) Abbildungsqualität: Spiegelteleskope haben in der Regel eine bessere Abbildungsqualität als Linsenteleskope. Dies liegt daran, dass es einfacher ist, große und präzise konkave Spiegel herzustellen als große und präzise Linsen. Spiegel können auch leichter poliert und justiert werden, um optische Fehler zu korrigieren.

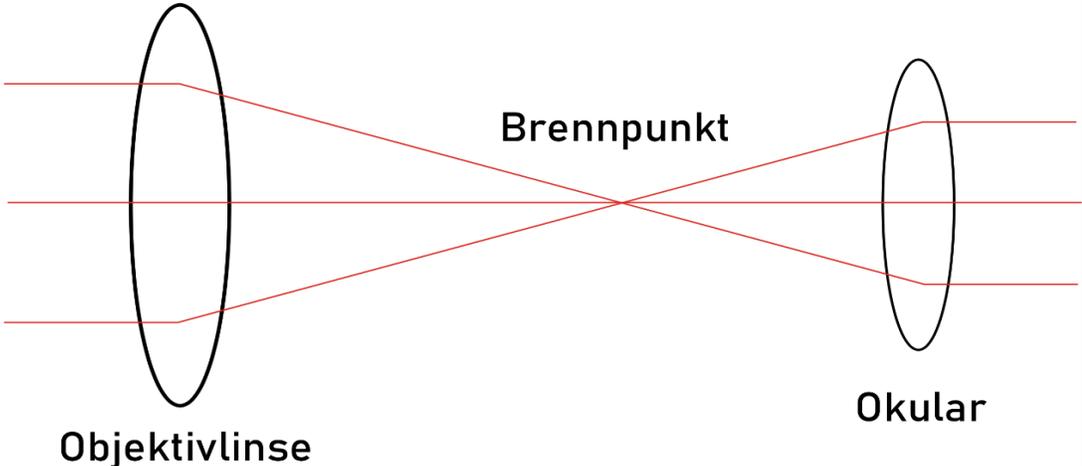
Lichtsammelvermögen: Spiegelteleskope haben ein größeres Lichtsammelvermögen als Linsenteleskope gleicher Größe. Dies liegt daran, dass der gesamte Hauptspiegel eines Spiegelteleskops das einfallende Licht sammelt, während bei einem Linsenteleskop nur die Vorderfläche der Linse das Licht sammelt.

Kompaktheit: Spiegelteleskope sind in der Regel kompakter und leichter als Linsenteleskope gleicher Größe. Dies liegt daran, dass konkave Spiegel weniger Material benötigen als dicke Linsen, um die gleiche Brennweite zu erreichen.

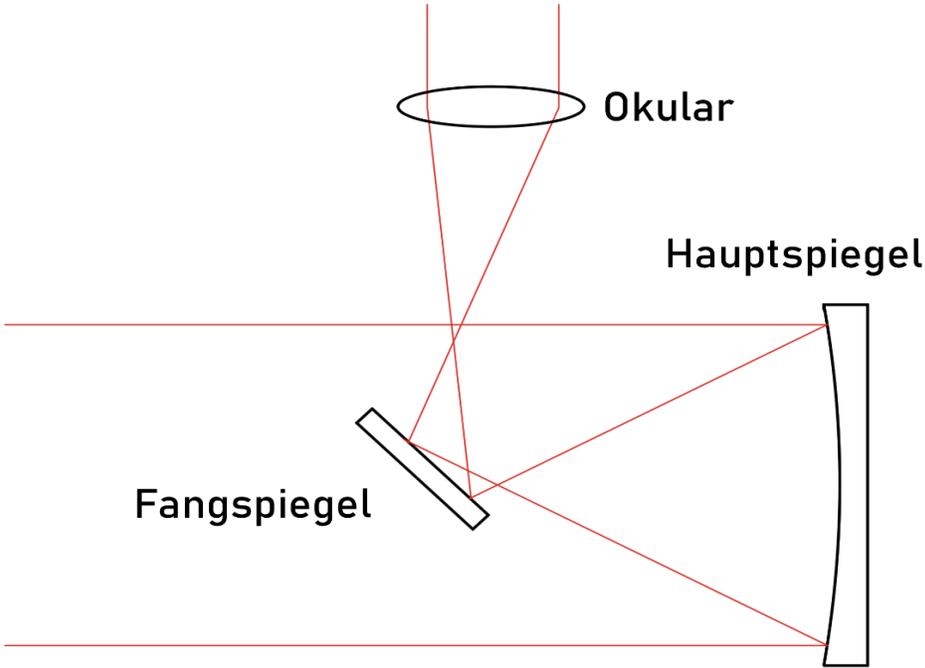
Kosten: Die Herstellung von hochwertigen Linsen für Teleskope kann sehr teuer sein, insbesondere für große Durchmesser. Im Vergleich dazu sind konkave Spiegel kostengünstiger herzustellen.

Flexibilität: Spiegelteleskope ermöglichen es, verschiedene Arten von Instrumenten wie Kameras oder Spektrographen an den Fokus anzuschließen, um verschiedene Arten von Beobachtungen durchzuführen. Dies macht sie vielseitiger als Linsenteleskope.

**Linsenteleskop**



**Spiegelteleskop**



## **Aktivität 2 – Spiegelteleskope und ihr Strahlenverlauf**

In dieser Aktivität werden die Schüler\*innen das in Aktivität 1 gelernte Wissen vertiefen und die Strahlengänge verschiedener Spiegelteleskoparten einzeichnen.

### **Material**

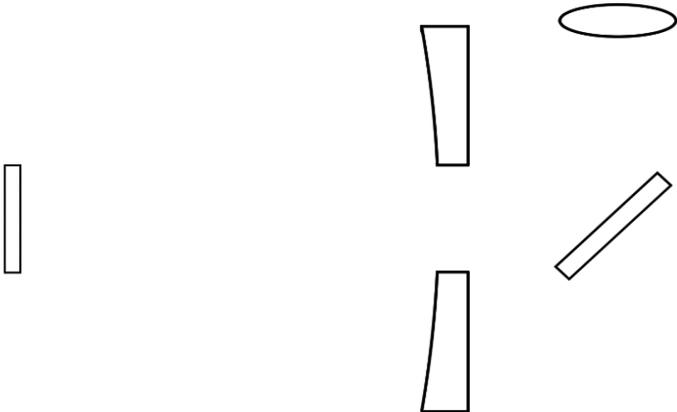
Schreibmaterial, Geodreieck

### **Aufgabe**

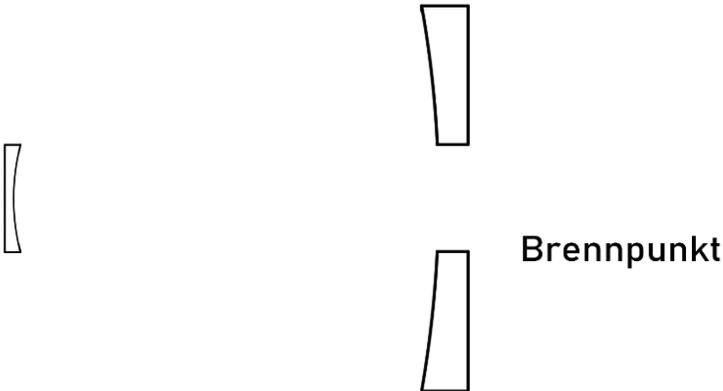
Unten seht ihr verschiedene Arten von Spiegelteleskopen, wie sie in der modernen Astronomie verwendet werden.

Zeichnet den Strahlenlauf in die verschiedenen Teleskope ein.

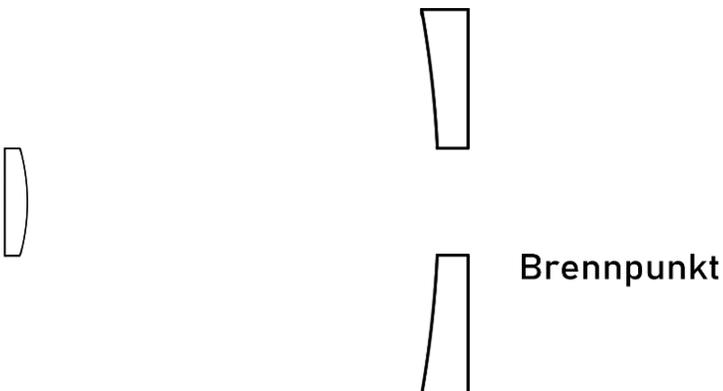
### Cassegrain-Teleskop



### Gregory-Teleskop

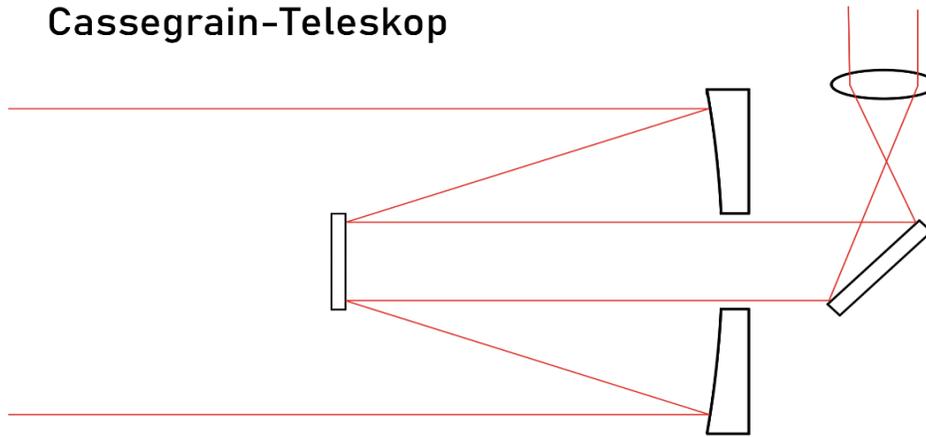


### Ritchey-Chretien-Cassegrain-Teleskop

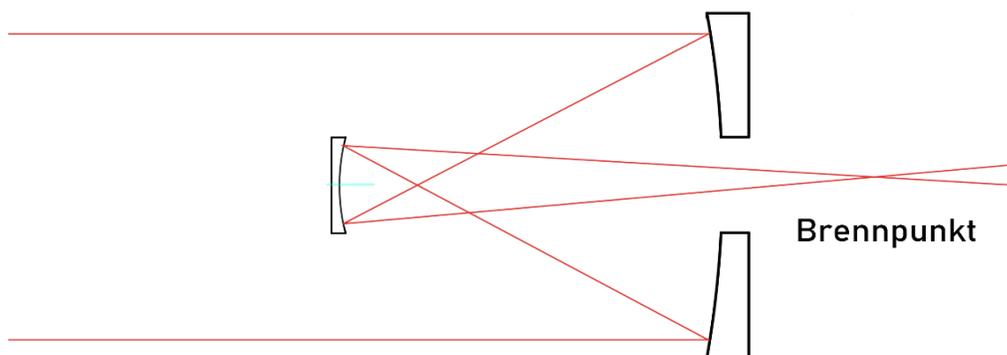


## Aufgabe – Ergebnis

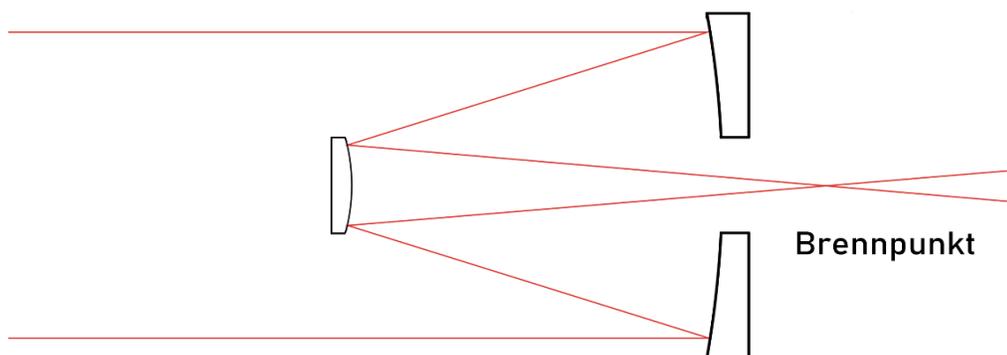
### Cassegrain-Teleskop



### Gregory-Teleskop



### Ritchey-Chretien-Cassegrain-Teleskop



## Grundlagen 2: HST und JWST – Ziele und Forschungsaufträge

Das **Hubble** Weltraumteleskop (HST) wurde am 24. April 1990 in den Weltraum gestartet. Es entstand aus einer Zusammenarbeit der NASA und der ESA. Es ist 13,1 m lang und hat einen Durchmesser von 4,3m. Der Primärspiegel, also der Hauptspiegel, ist 2,4 m groß.

Es kann vom Infrarotbereich, auch genannt Wärmestrahlung, über den sichtbaren Bereich des Lichtes bis in den UV-Bereich die Strahlung aufnehmen. Das HST fliegt mit ca. 547 km 140 km höher als die ISS um die Erde. Seitdem das Teleskop im Weltraum ist, wurde es fünfmal von Astronauten repariert, aber da es keine Spaceshuttles mehr gibt, besteht keine Möglichkeit das HST noch einmal zu reparieren.



Abbildung 1: Das Hubble-Weltraumteleskop

Ein Teleskop im Weltall zu haben hat große Vorteile. Zum einen kann man den Infraroten- und UV-Bereich beobachten, da die Atmosphäre dies sonst blockieren würde. Zum anderen verhindert die Aufnahme außerhalb der Erdatmosphäre auch Störungen der Luft, wodurch Aufnahmen unscharf werden.

In den mehr als 30 Jahren seit dem Betriebsbeginn hat das Hubble-Weltraumteleskop viele wichtige Messungen durchgeführt. Unter anderem das Hubble Ultra Deep Field (worauf im gleichnamigen Arbeitsblatt genauer eingegangen wird), mit dem die Entwicklung der Galaxien besser erforscht werden konnte, eine Bestimmung der Hubble-Konstante, mit der die Ausdehnung und das Alter des Universums berechnet werden kann und der Nachweis von Supermassiven schwarzen Löchern in den Zentren von Galaxien. In dieser Zeit hat das Hubble-Weltraumteleskop mehr als 1,5 Millionen Aufnahmen zur Erde gefunkt.

Das **James-Webb-Weltraumteleskop** (JWST) wird als Nachfolger von Hubble gesehen. Worauf sich das Teleskop spezialisieren sollte, wurde stark von Hubbles Beobachtungen geprägt.

Es ist am 25. Dezember 2021 in den Weltraum gestartet und entstand aus einer Zusammenarbeit der NASA, ESA und der CSA. Es ist 21 m lang, 14 m breit und der Primärspiegel ist 6,5 m groß.

Obwohl es viel größer als das Hubble-Weltraumteleskop ist und mit dem größeren Spiegel auch bessere Aufnahmen machen kann, kann es nur im Infrarotbereich beobachten. Auch ist es 1,5 Millionen km von der Erde entfernt und kann nicht repariert werden. Dies wurde zwar bedacht, allerdings wurde das Teleskop schon von einem kleinen Meteorit getroffen und ist dadurch leicht verkratzt worden. Dieser Kratzer schränkt allerdings das Teleskop nicht ein, da er kompensiert werden konnte.

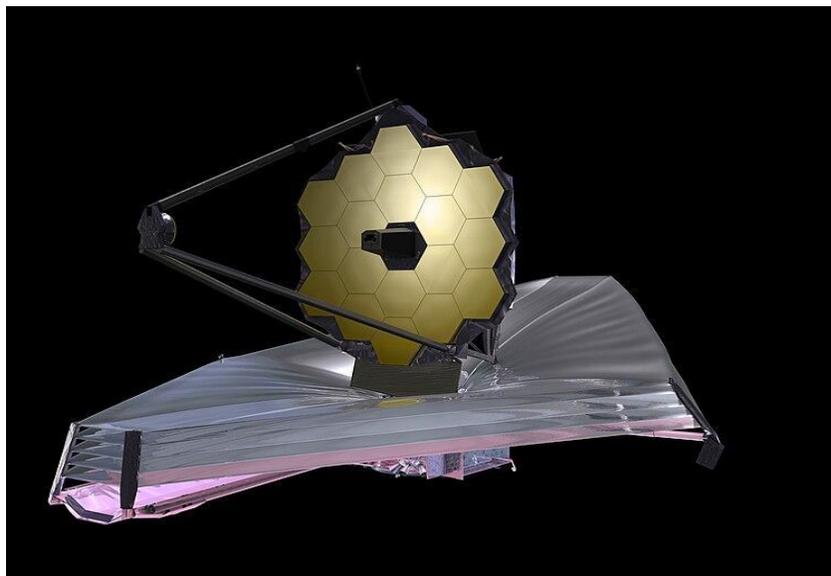


Abbildung 2: Das James-Webb-Weltraumteleskop

Das JWST wurde extra an diesem Punkt (Lagrange Punkt 2) platziert, da es dort immer auf der gleichen Entfernung zur Erde ist. (Genauerer dazu findet man auf dem Arbeitsblatt "Die Lagrange-Punkte des Erde-Sonne Systems")

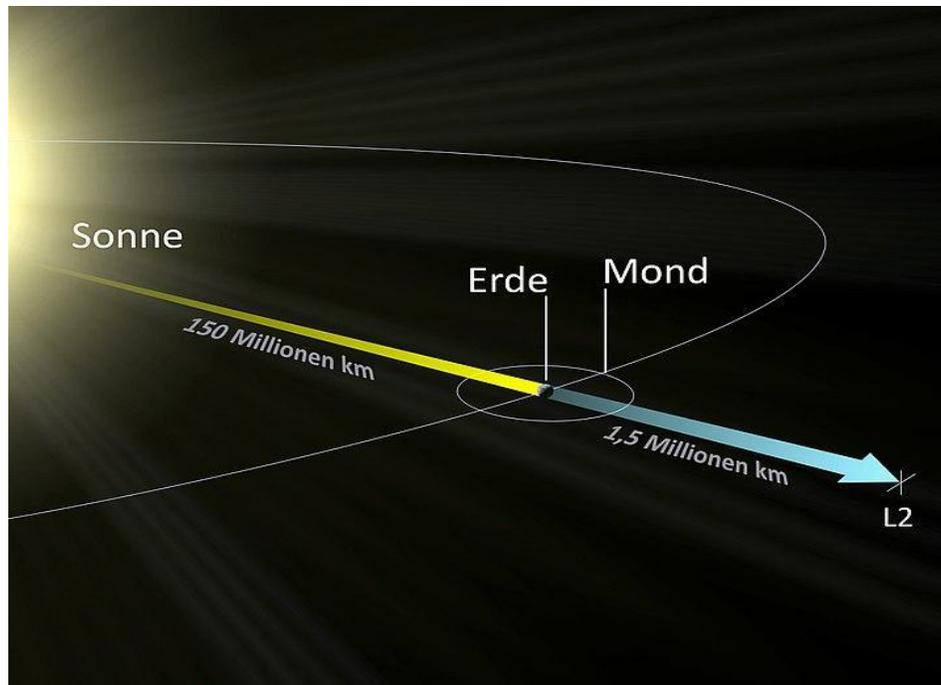


Abbildung 3: Position des James-Webb-Weltraumteleskops

Die Entscheidung, nur Infrarotkameras einzubauen, hatte aber einen guten Grund. Die Ziele des JWST sind unter anderem die Suche nach den ersten leuchtenden Objekten und Galaxien im Universum, nach dem Urknall, die Untersuchung der Entstehung und Weiterentwicklung von Galaxien, Schwarzen Löchern, Sternen und Planetensystemen und die Untersuchung von Exoplaneten, also Planeten außerhalb unseres Sonnensystems, auf die Eignung von Leben.

Dadurch, dass das Universum sich immer weiter ausdehnt, wird das Licht, das von diesen entfernten Galaxien ausgesandt wird, auch gedehnt und so verschiebt sich das sichtbare Licht in den Infrarotbereich. Da das James-Webb-Weltraumteleskop diese weit entfernten Galaxien beobachten soll, war es also schlau, nur Infrarotkameras einzubauen.

Das JWST ist etwa 100-mal empfindlicher als das HST und kann daher viel präzisere Aufnahmen machen, wie man in Abbildung 8 sieht.



Abbildung 4: Vergleich Hubble-Weltraumteleskop (links) und James-Webb-Weltraumteleskop (rechts)

Allerdings ist dieser Vergleich nicht fair. Da das HST hauptsächlich im optischen, also sichtbaren Licht aufnimmt und das JWST im Infraroten. Denn ein Vorteil des infraroten Lichts ist, dass es größtenteils durch Staub hindurch geht und man dadurch sozusagen durch den Staub gucken kann, wie man auch in Abbildung 8 sieht.

Einen besseren Vergleich hat man mit dem Spitzer-Weltraumteleskop. Dieses Teleskop lief vom 25. August 2003 bis zum 30. Januar 2020 und beobachtete auch nur im Infrarotbereich. Wieviel besser die Auflösung vom James-Webb-Weltraumteleskop zum Spitzer-Weltraumteleskop ist sieht man in Abbildung 9.

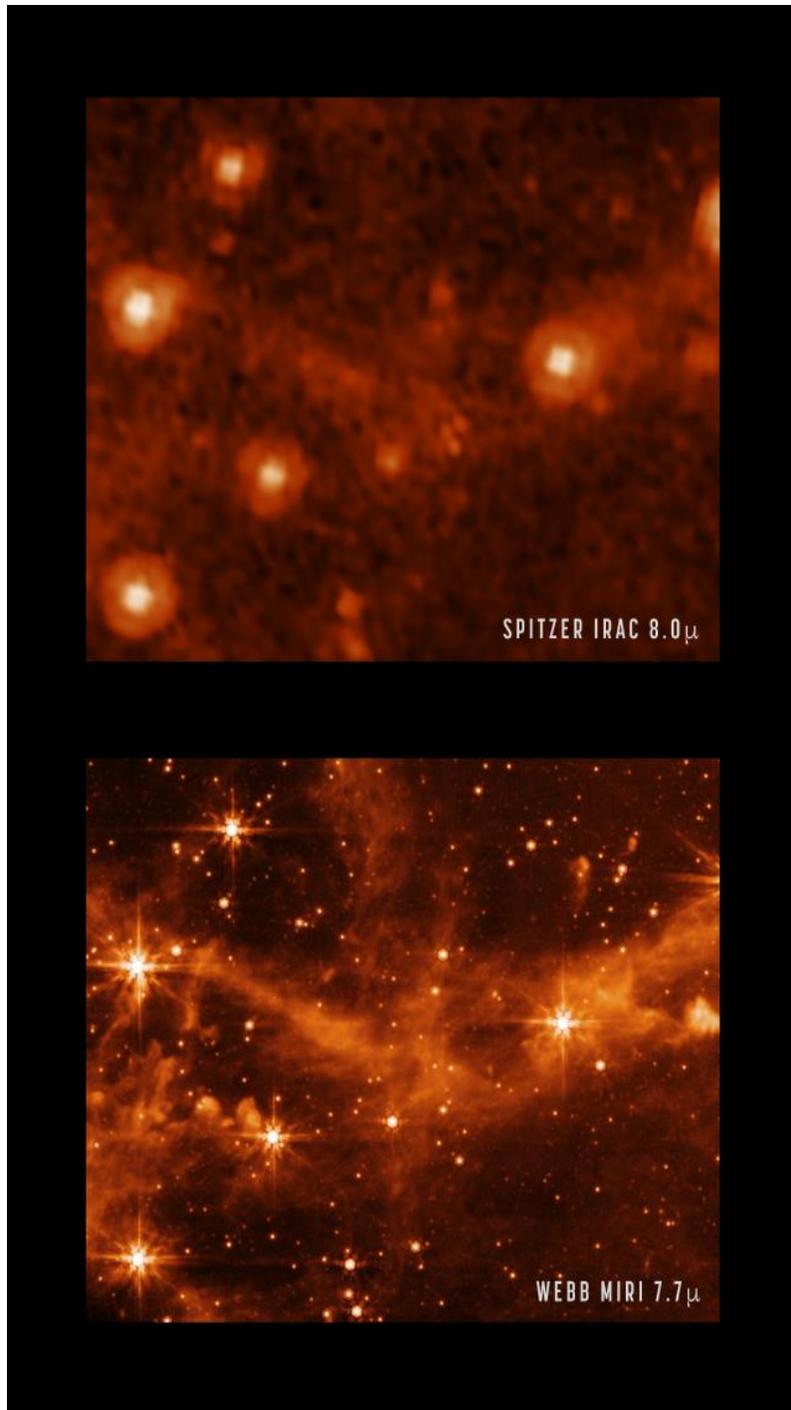


Abbildung 5: Vergleich Spitzer-Weltraumteleskop (oben) und James-Webb-Weltraumteleskop (unten)

Es lässt sich zusammenfassen, dass das JWST eine gute Ergänzung für die Wissenschafts-Teleskope ist und Erkenntnisse über die Entwicklung des frühen Universums und das Leben auf anderen Planeten liefern wird.

Das Hubble- und das James Webb-Weltraumteleskop haben ein sehr hohes Auflösungsvermögen. Das Auflösungsvermögen sagt aus, wie nah zwei Objekte (hier Galaxien) zueinanderstehen können, sodass man sie noch als zwei verschiedene und nicht ein großes Objekt erkennt „ $\alpha$ “.

Die Formel, um das Auflösungsvermögen berechnen zu können lautet:

$$\alpha = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D} \quad (1)$$

Mit „ $\lambda$ “ der Wellenlänge des genutzten Lichtes und „ $D$ “ dem Durchmesser der Teleskopöffnung.

Weil die Zahlen sehr klein werden, geben Astronomen das Auflösungsvermögen im Bogenmaß an. Dafür zerteilt man einen Kreis mit seinen  $360^\circ$  noch in Bogenminuten und Bogensekunden. Ein Grad ( $^\circ$ ) hat 60 Bogenminuten ( $'$ ) und eine Bogenminute hat 60 Bogensekunden ( $''$ ). So hat also ein Grad =  $60 \cdot 60 = 3600$  Bogensekunden.

Um jetzt vom Gradmaß ins Bogenmaß zu wechseln, muss man sich überlegen, wie ein Kreis in beiden Darstellungen aussieht. Im Gradmaß hat ein Kreis  $360^\circ$  und im Bogenmaß  $2\pi$  als Umfang. Wenn man beide Zahlen durcheinander dividiert, erhält man die Umrechnung vom Grad- ins Bogenmaß  $\frac{180}{\pi}$ .

So können wir unsere Formel modifizieren, sodass unser Ergebnis in Bogensekunden ist:

$$\alpha = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{180}{\pi} \cdot 3600'' \quad (2)$$

Ein Auflösungsvermögen von 1 Bogensekunden bedeutet, dass man, von der Erde aus, auf dem Mond zwei Objekte voneinander unterscheiden kann, die 1,86 km weit auseinander sind.

Ein Auflösungsvermögen von 10 Bogensekunden bedeutet, dass man, von der Erde aus, auf dem Mond zwei Objekte voneinander unterscheiden kann, die 18,62 km weit auseinander sind.

## Aktivität 3 – Auflösungsvermögen der Teleskope

In dieser Aktivität werden die Schüler\*innen das Auflösungsvermögen des Hubble- und des James Webb-Weltraumteleskops bestimmen. Dieses bestimmt in welchem Abstand zueinander Galaxien noch als zwei Objekte wahrgenommen werden können.

### Material

Schreibmaterial, Taschenrechner

### Aufgabe

- a) Lies den oberen Text und beschreibe wie sich Formel (2) zusammensetzt.

Für die folgenden Aufgabenteile rechnen wir mit Infraroten Licht, das eine Wellenlänge von 800 nm (=0,0000008 m) besitzt.

- b) Berechne das Auflösungsvermögen des Hubble-Weltraumteleskops, welches eine Öffnung von 2,4m hat.
- c) Berechne das Auflösungsvermögen des James Webb-Weltraumteleskops, welches eine Öffnung von 6,5m hat.
- d) Das menschliche Auge kann kein Infrarotes Licht wahrnehmen. Wir nehmen es aber für diesen Aufgabenteil an. Berechne nun auch das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges, welches eine Öffnung von 5 mm (=0,005 m) hat.
- e) Vergleiche die Ergebnisse. Was fällt dir auf?

### Aufgabe – Ergebnis

- a) Die Formel setzt sich aus der Formel des Auflösungsvermögens (1) und der Umrechnung von Grad in Bogensekunden zusammen.
- b) Das Auflösungsvermögen des Hubble-Weltraumteleskops berechnet sich:

$$\alpha = 1,22 * \frac{800 \text{ nm}}{2,4 \text{ m}} * \frac{180}{\pi} * 3600''$$

Das Ergebnis lautet 0,08''

- c) Das Auflösungsvermögen des James Webb-Weltraumteleskops berechnet sich:

$$\alpha = 1,22 * \frac{800 \text{ nm}}{6,5 \text{ m}} * \frac{180}{\pi} * 3600''$$

Das Ergebnis lautet 0,03''

d) Das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges berechnet sich:

$$\alpha = 1,22 * \frac{800 \text{ nm}}{5 \text{ mm}} * \frac{180}{\pi} * 3600''$$

Das Ergebnis lautet 40,26''

e) Durch den größeren Spiegel hat das James Webb-Weltraumteleskop ein besseres Auflösungsvermögen. Beide Teleskope haben aber ein deutlich besseres Auflösungsvermögen als das menschliche Auge und können so weitaus mehr Details wahrnehmen.

## Links

### ESA Ressourcen

ESA Klassenzimmer Ressourcen: [www.esero.de](http://www.esero.de)

ESA Kids Webseite: [www.esa.int/kids](http://www.esa.int/kids)

### ESA Weltraumprojekte

Hubble-Weltraumteleskop: <https://esahubble.org>

James Webb-Weltraumteleskop: <https://esawebb.org/>

## Quellen

Titelbild: <https://webbtelescope.org/contents/media/images/4198-Image>

Abbildung 1: [https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Hubble\\_01\\_Cropped.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Hubble_01_Cropped.jpg)

Abbildung 2: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:James\\_Webb\\_Space\\_Telescope\\_2009\\_top.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:James_Webb_Space_Telescope_2009_top.jpg)

Abbildung 3: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:L2\\_rendering\\_de.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:L2_rendering_de.jpg)

Abbildung 4a: <https://esawebb.org/images/weic2216f/>

Abbildung 4b: <https://esawebb.org/images/weic2216e/>

Abbildung 5: [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2022/05/MIRI\\_and\\_Spitzer\\_comparison\\_image](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2022/05/MIRI_and_Spitzer_comparison_image)

**COPYRIGHT © ESERO GERMANY (CC BY-NC-ND 2.0 DE)**