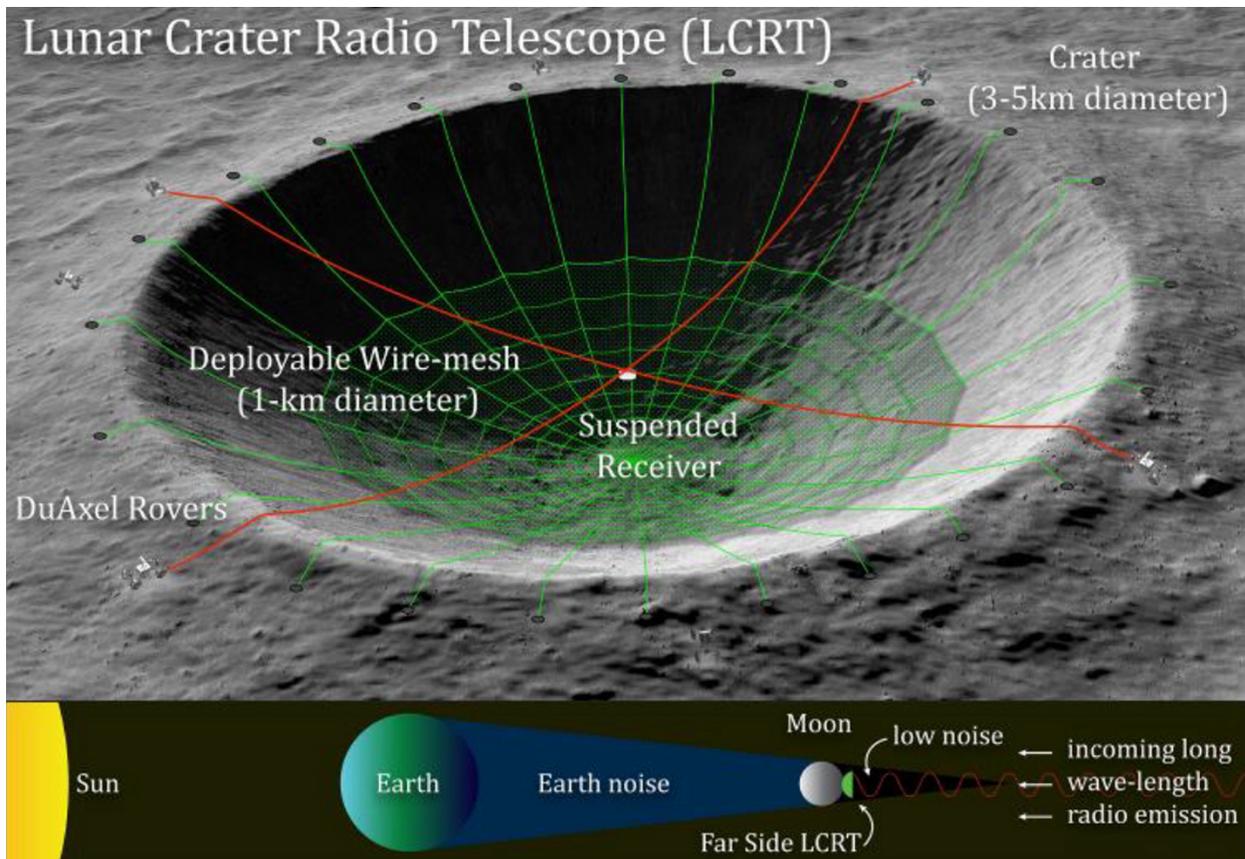


Projekttag: Mondkrater Teleskop (LCRT)



Credits: Saptarshi Bandyopadhyay

Inhaltsverzeichnis

GUIDE FÜR LEHRER*INNEN	3
Kurze Beschreibung	3
Kurze Infos	3
Lernziele	3
Zusammenfassung der Aktivitäten	4
Grundlagen	5
<i>Der Mond</i>	5
<i>Radiowellen</i>	6
<i>Mathematische Grundlagen</i>	6
Aufgaben	8
<i>Aufgabe 1 – Warum ein Radioteleskop auf dem Mond?</i>	8
<i>Aufgabe 2: Welcher Krater eignet sich am Besten?</i>	9
<i>Aufgabe 3: Planung des Teleskopes</i>	9
<i>Aufgabe 4: Bau des Teleskopes</i>	12
ARBEITSBLATT FÜR SCHÜLER*INNEN	15
<i>Mathematische Grundlagen</i>	16
Aufgaben	18
<i>Aufgabe 1: Warum ein Radioteleskop auf dem Mond?</i>	18
<i>Aufgabe 2: Welcher Krater eignet sich am Besten?</i>	19
<i>Aufgabe 3: Planung des Teleskopes</i>	20
<i>Aufgabe 4: Bau des Teleskopes</i>	22
Links	25

Projektwoche: Mondkrater Teleskop

Wie baut man ohne Menschen ein Teleskop auf dem Mond?

Kurze Beschreibung

*Auf diesem Arbeitsblatt lernen Schüler*innen etwas über die Planung, als auch den Bau von Teleskopen, nachempfunden an der echten Planung eines Radioteleskopes auf dem Mond. Da das Ganze sich um eine Projektwoche handelt, wird empfohlen, immer in Gruppengrößen von 3-4 Personen zusammen zu arbeiten.*

Kurze Infos

Fächer: *Physik, Technik*

Altersgruppe: *12-16 Jahre*

Art der Aufgaben: *Laboraufgabe, Technik*

Schwierigkeitsgrad: *mittel*

Benötigte Zeit: *insgesamt ca. 1 Schulwoche*

Kosten: *niedrig, gesamtes Versuchsmaterial günstig in Bastelläden oder ähnlichem erhältlich*

Ort: *Klassenraum, draußen*

Benötigte Materialien: *siehe vorbereitete Liste*

Keywords: *Monderkundung, Planung, Robotik*

Lernziele

*Die Schüler*innen lernen auf diesem Arbeitsblatt:*

- Die Arbeitsweise von Luft-& Raumfahrtunternehmen kennen
- Kosteneinschätzung von Projekten kennen
- Die Vorbereitungen für ein Bauprojekt kennen
- Was für Risiken das Bauen mit Robotern birgt
- Das Arbeiten im Team

Zusammenfassung der Aktivitäten

Aktivität	Titel	Beschreibung	Ergebnis	Voraussetzungen	Zeit
1	Warum ein Radioteleskop auf dem Mond?	<i>Rechenaufgaben, um zu verstehen, warum der Bau sinnvoll ist</i>	<i>Lernen, wie Radioteleskop funktioniert</i>	<i>Taschenrechner</i>	<i>Ca. 20 Minuten</i>
2	Welcher Krater eignet sich am besten?	<i>Auswahl eines Kraters auf dem Mond aus einer vorgegebenen Auswahl</i>	<i>Ein ausgewählter Krater, mit welchem die Schüler weiterarbeiten können</i>	<i>Computer</i>	<i>Ca. 20 Minuten</i>
3	Planung des Teleskopes	<i>Planung, wie genau und womit das Teleskop gebaut wird</i>	<i>Bauplan für das Teleskop</i>	<i>Abschluss der zweiten Aufgabe</i>	<i>Ca 1h</i>
4	Bau des Teleskopes	<i>Nachbau des Teleskopes wie echte Raumfahrtorganisationen</i>	<i>Fertiges Teleskop</i>	<i>Abschluss der dritten Aufgabe</i>	<i>Ca 2h</i>

Grundlagen

Der Mond

Der Mond ist ein Satellit unserer Erde. Er ist von der Erde aus am Nachthimmel gut sichtbar und erscheint im Vergleich zu den Planeten unseres Sonnensystems sehr groß. Dies liegt an der Nähe des Mondes zu unserer Erde und aufgrund eben dieser Nähe eignet sich der Mond auch sehr gut als erster Himmelskörper für die Errichtung einer Station.

Ebenso wie die Erde dreht sich auch der Mond um sich selbst. Außerdem umrundet er die Erde im Laufe eines Monats.

Auf dem Mond selbst sieht es aus wie in einer Steinwüste. Überall ist Geröll und Staub. Im Gegensatz zur Erde weist der Mond sehr viele Krater auf, die durch den Einschlag von Meteoriten entstanden sind. Die dunklen Flecken, die man auch von der Erde aus auf dem Mond ausmachen kann, sind besonders große Krater, die man auch „Meere“ nennt.

Die Rückseite des Mondes kann man von der Erde aus nie sehen, da der Mond uns immer nur eine Seite zuwendet. Daher eignet sich die Rückseite besonders für Radioteleskope, weil diese vor der Radiostrahlung der Erde durch den Mond selbst abgeschirmt sind. Dies ist einerseits gut, da so - falls es gelingen sollte dort ein Teleskop zu bauen – neue Erkenntnisse über die Entstehung des Universums gewonnen werden könnten. Andererseits ist es um einiges komplizierter, auf der erdabgewandten Seite nur mit Robotern etwas Derartiges zu errichten.

Außerdem sind die Temperaturunterschiede auf dem Mond enorm. Ist auf dem Mond Nacht, so kann es bis zu -160 °C kalt werden, am Tag dagegen können die Temperaturen auf bis zu 130 °C ansteigen.

Auch die Anziehungskraft auf dem Mond unterscheidet sich von der auf der Erde. Sie ist nur rund ein Sechstel so groß wie die auf unserer Erde.

Auf diesem Arbeitsblatt werden die Schüler*innen selbst das Projekt Mondteleskop nachbauen, mit allen Schwierigkeiten und Risiken, vor denen auch echte Raumfahrtunternehmen stehen.

Radiowellen

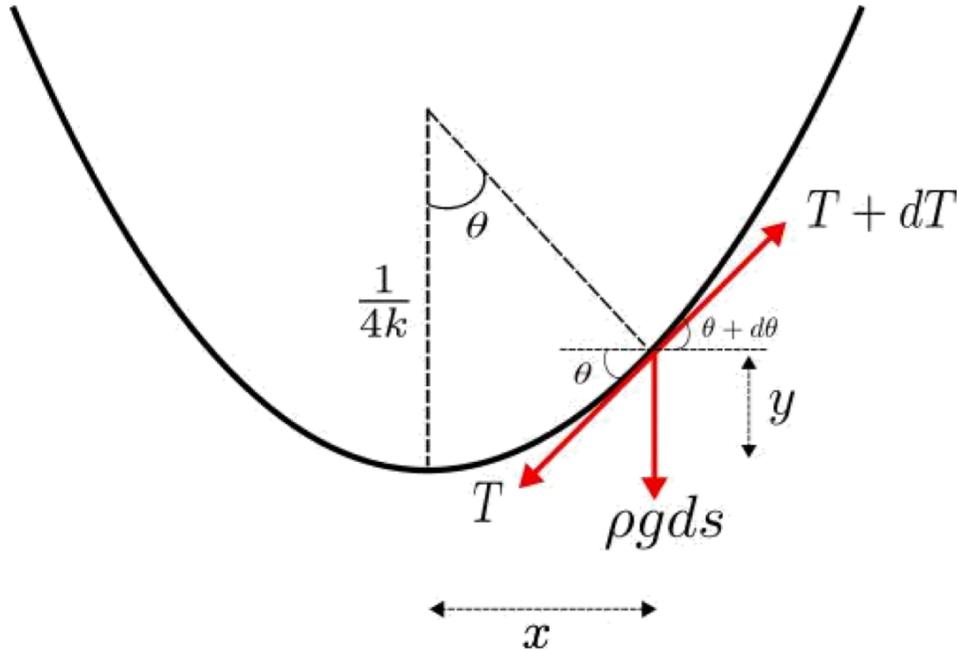
Das LCRT, welches hier von den Schülern nachempfunden werden soll, ist ein Radioteleskop. Radioteleskope sind, wie der Name bereits sagt, Teleskope welche Radiowellen empfangen. Daher sehen sie im Vergleich zu optischen Teleskopen, die einige Hobbyastronomen haben und die leicht zu transportieren sind, deutlich anders aus.

Radiowellen haben eine Wellenlänge zwischen 1 mm–über einem Kilometer (zum Vergleich: optisches Licht liegt ca. zwischen 400–800 nm). Im Alltag begegnen sie uns zum Beispiel beim Radio oder in der Fernsehtechnik. Im Universum haben sie einen anderen Ursprung: dadurch, dass das Universum sich ausdehnt, wird das Licht „von früher“ quasi mit ausgedehnt. Daher erhoffen sich die Astronomen, durch die Messung dieser langen Wellenlängen, Einblicke in das frühe Universum; sie wollen weiter in die Vergangenheit zurückschauen.

Um Radiowellen aufnehmen und auswerten zu können, wird am Teleskop außerdem noch eine Antenne benötigt, die über der Mitte der Schüssel montiert wird. Die Raumfahrtorganisation wählte hier eine „Long periodic Antenna“ mit einer Länge von 150 m. Dadurch wird eine Verstärkung von 8.5 dB bei 3 MHz erreicht und eine Verstärkung von 9.5 dB bei 30 MHz. Im besten Fall soll die Größe der Antenne in Zukunft auf eine Größe von ca. 22 x 32 m reduziert werden

Mathematische Grundlagen

Das Teleskop auf dem Mond wird aus einer Art Netz bestehen, welches im Krater „hängt“. Das hängende Netz soll dabei eine parabelförmige Form annehmen. Die lineare Dichte der Drähte, aus denen das Teleskop aufgebaut ist, soll sich auch bei starken Temperaturunterschieden nicht ändern, d.h. es soll seine Form beibehalten. Das Ganze kann mathematisch beschrieben werden.



Credits: NASA

Eine Parabel lässt sich mit $y = kx^2$ beschreiben, wobei k eine Konstante ist. Durch das Kräftegleichgewicht, welches auf eine kleine Fläche ds wirkt (dargestellt durch die roten Pfeile in der Abbildung), erhält man:

$$dT = \rho g \sin \theta ds$$

$$T d\theta = \rho g \cos \theta ds$$

Für unsere Parabel ergibt sich: $dy = 2kx dx \Leftrightarrow ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} \Leftrightarrow ds = dx \sqrt{1 + 4k^2 x^2}$

Außerdem erhalten wir aus der Abbildung: $\tan \theta = \frac{x}{\frac{1}{4k} - y}$

Aus den ersten beiden Gleichungen erhalten wir $\frac{dT}{T} = \tan \theta d\theta$. Integrieren wir, ergibt das:

$T = \frac{T_0}{\cos \theta}$. Dies setzen wir nun für T in Gleichung 2 ein und erhalten $\frac{T_0}{\rho g} = \frac{ds}{d\theta} \cos^2 \theta$. Nach

ein bisschen weiterem Rechnen erhält man schlussendlich den Ausdruck $\frac{\rho}{\rho_0} 8f^3 \frac{\sqrt{4f^2 + x^2}}{(4f^2 + x^2)^2}$,

wobei f die Brennweite ist. Schlussendlich ergibt sich für das effektive Verhältnis der

linearen Massendichte $\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{\frac{2\pi x t^2}{N(x)} + \frac{\lambda}{4} t_0^2}{\frac{2\pi x_1 t_0^2}{N_0^2} + \frac{\lambda}{4} t_0^2}$

x_1 ist hier der Radius des ersten umlaufenden Drahtes, N_0 ist die Anzahl der radialen Drähte. Mit diesen Informationen kann nun die Variation der Dicke der Drähte bestimmt werden. Bei einem angenommenen Radius des Teleskopes von 500 m, würde sich eine Anzahl von 210 umlaufenden Drähten ergeben.

Aufgaben

Aufgabe 1 – Warum ein Radioteleskop auf dem Mond?

In dieser Aufgabe sollen die Schülerinnen und Schüler die Hintergründe für den Bau eines Radioteleskopes auf dem Mond verstehen.

Kurzfragen

1) Welche Vorteile hat ein Teleskop auf dem Mond gegenüber einem auf der Erde?

→ Weniger bzw. gar keine RFI (radio frequency interference): Die (von Menschen verursachte) Radiostrahlung verschlechtert die Aufnahmen von Radioteleskopen auf der Erde. Auf der Rückseite des Mondes wird diese Strahlung durch den Mond selbst abgeschirmt, da dieser durch die gebundene Rotation der Erde immer dieselbe Seite zuwendet.

Welche Wellenlängen deckt das LCRT ab?

→ Die Wellenlängen, die das LCRT empfangen kann, liegen zwischen 10-100m. Das entspricht Frequenzen von ca. 3-30MHz.

2) Welche Nachteile hat das Teleskop auf dem Mond?

→ Der Hauptnachteil ist der Bau: da auf dem Mond keine Mondbasis existiert, muss das Teleskop ausschließlich von Robotern gebaut werden. Dies ist teuer und riskant.

3) Fallen euch Risiken ein, die beachtet werden müssen (Vakuum, Meteoriten, Temperatur, etc.)?

→ Temperaturschwankungen in der Mondnacht von ca. 10K, sollte wegen der Belastung während des Mondtages strukturellen Schwankungen von ca. 200 K standhalten.

→ Mikrometeoriten sind ein Risiko (hat Auswirkungen auf die Netzgröße des Teleskopes)

Aufgabe 2: Welcher Krater eignet sich am besten?

In dieser Aufgabe sollen die Schülerinnen und Schüler aus einer begrenzten Auswahl an Kratern auf der Rückseite des Mondes, den ihrer Meinung nach besten Krater auswählen und ihre Auswahl begründen.

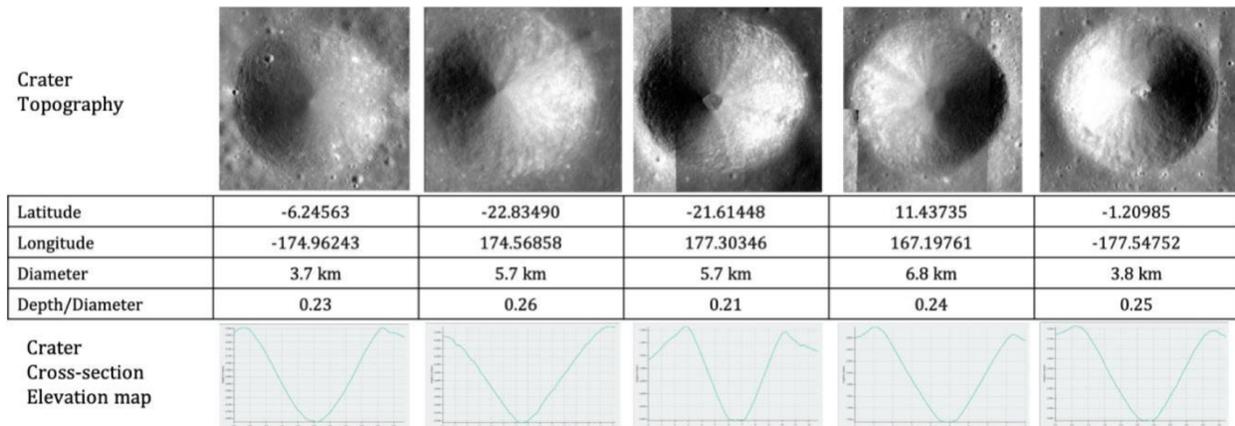


Abb.1: Auswahl der Krater

Wichtig bei der Auswahl des Kraters selbst ist ein hohes d/D Verhältnis. d/D bedeutet Tiefe/Durchmesser Verhältnis (depth-to-diameter-ratio). Außerdem sollte er möglichst parabelförmig sein.

Aufgabe 3: Planung des Teleskopes

In dieser Aufgabe sollen die Schüler*innen lernen, was es beim Bau zu berücksichtigen gibt. Dazu gehört die Kalkulation von Kosten, Risiken, die Möglichkeiten der Umsetzung und einiges an Rechnungen bzw. Modellen.

Punkt 1: Der Krater

Der von den Raumfahrtunternehmen ausgewählte Krater hat eine Tiefe von 960 m und einen Durchmesser von 3.82 km. Das d/D-Verhältnis (Tiefe zu Durchmesser) liegt bei 0.251. Der Krater ist außerdem sehr rundlich, hat keine Felsen oder ähnliches und einen flachen Rand. Warum ist das wichtig?

Punkt 2: Das Design

Das Teleskop wird aus einer Art Netz gebaut. Hierbei gibt es kreisförmige Seile sowie längsförmige Seile, die zusammengesetzt werden müssen. Macht Euch Gedanken darüber, wie viele rundumlaufende bzw. wie viele längsverlaufende Seile ihr benutzen könntet und wieso. Tipp: Ihr könnt Euch auch einfach überlegen, was für ein fertiges Netz ihr braucht bzw. wie engmaschig dieses sein sollte.

Außerdem gibt es bei Radioteleskopen immer eine Antenne, damit die Daten aufgenommen und verarbeitet werden können. Wo wird die Antenne auf dem Mond angebracht bzw. habt ihr eine Idee, wie? Schreibt Eure Ideen dazu auf!

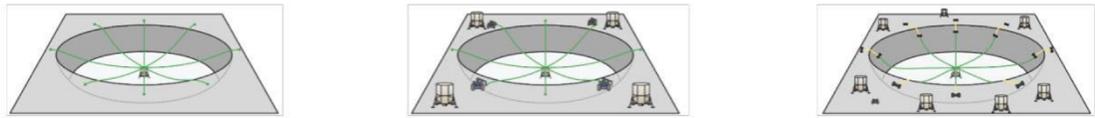
→ Die Antenne sollte mittig über der Schüssel sitzen (wie bei einer Satellitenschüssel für Fernsehempfang). Sie könnte beispielsweise mit einem Flaschenzug aufgerichtet werden. Dafür müsste ein Seil quer über das Teleskop gespannt werden (bzw. mehrere Seile) und die Antenne daran mittig platziert werden. Schlussendlich kann sie mit weiteren Seilen aufgerichtet werden.

→ Das Netz sollte auf dem Mond nicht zu feinmaschig sein (aufgrund des Risikos von Mikrometeoriten). Zu grobe Maschen könnten die Empfindlichkeit des Teleskopes reduzieren. Beim Nachbau ist dies allerdings nicht so wichtig.

Punkt 3: Roboter

Zurzeit gibt es noch keine Mondbasis auf dem Mond. Das macht es für Menschen quasi unmöglich, das Teleskop komplett ohne Hilfe aufzubauen. Daher ist geplant, das Teleskop mithilfe von Robotern aufzubauen. Roboter würden mithilfe einer Rakete auf dem Mond landen (und sich ggf. mit Rovern fortbewegen). Die Seile für das Teleskop müssen am Rand des Kraters verankert werden. Je nachdem, wie ihr euer Teleskop also bauen wollt, also wie viele Anker es beispielsweise haben soll etc. desto mehr Roboter könnten nötig sein. Ein weiterer Aspekt, für den Roboter notwendig sein könnten, ist das Errichten der Antenne des Teleskopes.

Der Nachteil: Roboter kosten sehr viel Geld. Das heißt, es muss ein Mittelweg zwischen möglichst wenig Robotern, aber auch geringem Risiko, dass etwas schief geht (je mehr Roboter, desto höher die Sicherheit) gefunden werden.



Method	Projectile w/ passive anchors	Rovers & passive anchors (dropped by rovers or landed separately)		Rovers as anchors
Rovers	0	1	8	20 (1 per anchor)
Landers	LCRT & Deployment = 1	1 LCRT + 1 Deployment = 2	1 LCRT + 4 Deployment = 5	1 LCRT + 10 Deployment = 11
Deploy Time'	< 1 Earth day	74 Earth days	9 Earth days	4 Earth days
Redundant	Yes	None	Yes	Yes
Robustness	challenging to model/test, high terrain dependence, low heritage	none if primary rover fails, must survive the lunar night	minimum amount of rovers to deploy in a single lunar day	possible for extra rovers to retrieve lift wires for failed rovers
Landed Mass	20 projectile anchors = 2 mT	1 rover + 20 anchor = 0.3+2 mT	8 rover + 20 anchor = 2.6+2 mT	20 rover = 6.5 mT
Deploy Cost*	1 lander + 20 projectile [^] = \$150+10 M	2 lander + 1 rover = \$300+200 M	5 lander + 8 rover ^{**} = \$750+800 M	11 lander + 20 rover ^{**} = \$2+2 B
Total Cost	deploy + antenna ^{^^} = \$760 M	deploy + antenna ^{^^} = \$1 B	deploy + antenna ^{^^} = \$2.1 B	deploy + antenna ^{^^} = \$4.5 B

† Time assumes 2 cm/s avg. velocity and deployment of 20 lift wires
 * Lander includes launch vehicle (\$50 M/launch, \$100 M/lander)
 ** Rover cost 1/2 for multiple units
 ^ Projectile anchor cost \$1M/each
 ^^ Antenna system cost \$ 500M

Credits: NASA

Abb. 2: Kostenverhältnis im Vergleich zum Aufbau des Teleskopes

Hier seht ihr einen Ausschnitt aus der Planung der Raumfahrtorganisation. Ganz links seht ihr die Option mit einem Lander, welcher das Teleskop und das Zubehör absetzt. Dieses Teleskop hat keine passiven Anker bzw. keine Roboter, die helfen würden. Es wäre mit 760.000.000 \$ die günstigste Variante.

In der Mitte habt ihr 2 Optionen für dieselbe Verankerung: Einmal wird ein Rover gesendet sowie 2 Lander. Das Ganze kostet 1 Milliarde \$. Bei Option 2 habt ihr 8 Rover sowie 5 Lander, das würde dann aber schon 2.1 Milliarden \$ kosten.

Ganz rechts würden die Rover selbst als Anker fungieren, das heißt es würden 20 Rover gesendet werden (also 20 Anker) und 11 Lander. Diese Mission würde dann schon 4.5 Milliarden \$ kosten.

Nun seid ihr gefragt. Welche Option würdet ihr wählen und wieso? Begründet eure Antwort!

→ Die Wissenschaftler haben bei Option 1 die meisten grünen Felder (weshalb dies die vermutlich beste Option ist). Diese Option ist sehr günstig, hat Redundanz und geht schnell. Bei der letzten Option fallen sehr hohe Kosten an, außerdem wird der Rover sehr

schwer, was zusätzliches Risiko bedeutet. Die mittleren Optionen sind etwas teurer als die Erste, haben im Vergleich aber kaum Vorteile.

Aufgabe 4: Bau des Teleskopes

In der letzten Aufgabe geht es darum, das zuvor geplante Teleskop selbst aufzubauen.

Hierfür wird benötigt:

- Strohhalme o.Ä. in 4 verschiedenen Farben (z.B. gelb, orange, blau und rot):
 - o Gelb: 16 Stücke mit jeweils 11.5 cm Länge
 - o Orange: 32 Stücke mit jeweils 11.5 cm Länge
 - o Blau: 16 Stücke mit jeweils 11.5 cm Länge
 - o Rot: 32 + 48 Stücke mit jeweils 8.75 cm Länge
- Schnur die durch die Strohhalme passt
- Metalldraht (ca. 80 cm Länge)

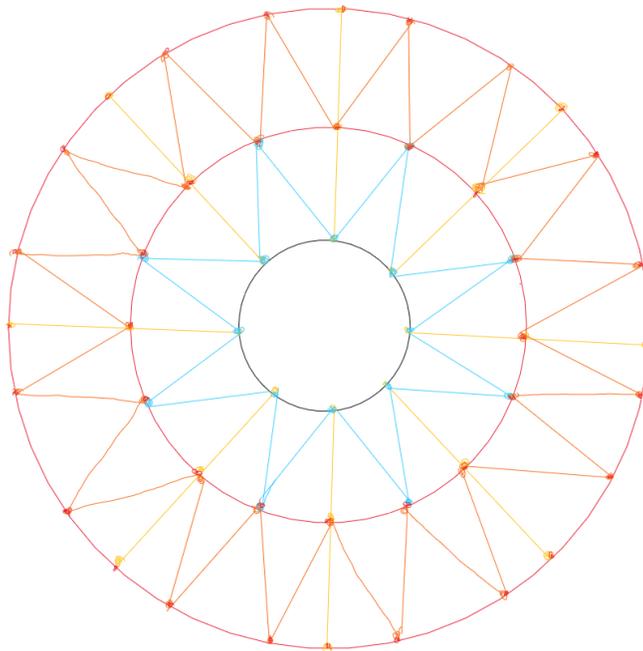


Abb.3: So soll das Teleskop fertig aussehen. Dies ist keine maßstabsgetreue Skizze, sie dient nur zur ungefähren Orientierung

Schritt 1: der innere Kreis

Mit dem Metalldraht einen Kreis mit einem Durchmesser von ca. 23 cm formen. Dieser Kreis ist der innere (schwarze) in der Skizze.

Schritt 2: die gelben Längsbalken

Nun einen Faden durch jeweils 2 gelbe Strohalmstücke fädeln, sodass ihr am Ende jeweils 8 Fäden mit je 2 gelben Strohalmstücken habt. Achtet darauf, die Schnur etwas länger zu lassen, damit ihr noch Platz für die Knoten habt.

Nun ein Ende der Fäden jeweils am schwarzen inneren Kreis befestigen.

Schritt 3: der mittlere Kreis

Nehmt einen langen Faden. Knotet ihn zwischen 2 gelben Strohhalmen fest. Fädelt nun jeweils 4 rote Stücke auf den Faden, knotet den Faden dann wieder zwischen 2 der gelben Strohhalme fest, etc. bis ihr wieder bei eurem Ausgangspunkt angekommen seid. Das Fadenende am besten wieder da festmachen, wo auf er Anfang festgeknotet ist. Insgesamt braucht ihr hier 32 Stücke vom roten Strohalm.

Schritt 4: der äußere Kreis

Für den äußeren Kreis braucht ihr nun 48 der roten Strohalmstücke. Nehmt einen langen Faden und knotet ihn bei einem Ende eines der gelben Fadenenden fest. Jetzt steckt jeweils 6 rote Stücke Strohalm auf den Faden und bindet dahinter das nächste Ende eines der gelben Stücke fest. Macht dies weiter, bis ihr wieder am Ausgangspunkt angekommen seid, und knotet hier wieder euer Ende fest.

Schritt 5: die blauen Stücke

Die blauen Stücke sind wie in der Skizze zu sehen, jeweils zwischen den gelben Längsstreben und dem inneren und mittleren Kreis. Befestigt also immer zwischen je 2 roten Strohhalmen im mittleren Kreis einen blauen Strohalm und jeweils bei den gelben Längsstreben die blauen Enden.

Schritt 6: die orangenen Stücke

Die orangenen Stücke sitzen zwischen dem mittleren und äußeren Kreis. Befestigt beim äußeren Kreis wieder im Abstand von 2 roten Strohhalmen ein Ende für ein orangenes Stück und auch wieder im Abstand von 2 Strohhalmen ein Ende im mittleren Kreis.

Abschließende Kurzfragen:

Könnt ihr euch vorstellen, wie genau das Teleskop so auf dem Mond gebaut werden soll bzw. dort hin transportiert werden soll?

Das Teleskop so wie es hier designt ist, soll zusammengefaltet werden und muss auf dem Mond im Krater dann quasi nur noch ausgeklappt werden! Das spart Ressourcen.

Warum genau sollen mehrere kleinere Stücke z.B. vom roten Strohalm genutzt werden und nicht weniger mit der insgesamt gleichen Länge?

Dies macht die einzelnen Stücke quasi beweglicher bzw. es ist dann einfacher, die Teile kleiner zu falten.

ARBEITSBLATT FÜR SCHÜLER*INNEN

Projektwoche: Mondkrater Teleskop

Wie baut man ohne Menschen ein Teleskop auf dem Mond?

Der Mond

Der Mond ist ein Satellit unserer Erde. Er ist von der Erde aus am Nachthimmel gut sichtbar und erscheint im Vergleich zu den Planeten unseres Sonnensystems sehr groß. Dies liegt an der Nähe des Mondes zu unserer Erde und aufgrund eben dieser Nähe eignet sich der Mond auch sehr gut als erster Himmelskörper für die Errichtung einer Station.

Ebenso wie die Erde dreht sich auch der Mond um sich selbst. Außerdem umrundet er die Erde im Laufe eines Monats.

Auf dem Mond selbst sieht es aus wie in einer Steinwüste. Überall ist Geröll und Staub. Im Gegensatz zur Erde weist der Mond sehr viele Krater auf, die durch den Einschlag von Meteoriten entstanden sind. Die dunklen Flecken, die man auch von der Erde aus auf dem Mond ausmachen kann, sind besonders große Krater, die man auch „Meere“ nennt.

Die Rückseite des Mondes kann man von der Erde aus nie sehen, da der Mond uns immer nur eine Seite zuwendet. Daher eignet sich die Rückseite besonders für Radioteleskope, weil diese vor der Radiostrahlung der Erde durch den Mond selbst abgeschirmt sind. Dies ist einerseits gut, da so - falls es gelingen sollte dort ein Teleskop zu bauen – neue Erkenntnisse über die Entstehung des Universums gewonnen werden könnten. Andererseits ist es um einiges komplizierter, auf der erdabgewandten Seite nur mit Robotern etwas derartiges zu errichten.

Außerdem sind die Temperaturunterschiede auf dem Mond enorm. Ist auf dem Mond Nacht, so kann es bis zu - 160 °C kalt werden, am Tag dagegen können die Temperaturen bis auf 130 °C ansteigen.

Auch die Anziehungskraft auf dem Mond unterscheidet sich von der auf der Erde. Sie ist nur rund ein Sechstel so groß wie die auf unserer Erde.

Auf diesem Arbeitsblatt werden die Schüler*innen selbst das Projekt Mondteleskop nachbauen, mit allen Schwierigkeiten und Risiken, vor denen auch echte Raumfahrtunternehmen stehen.

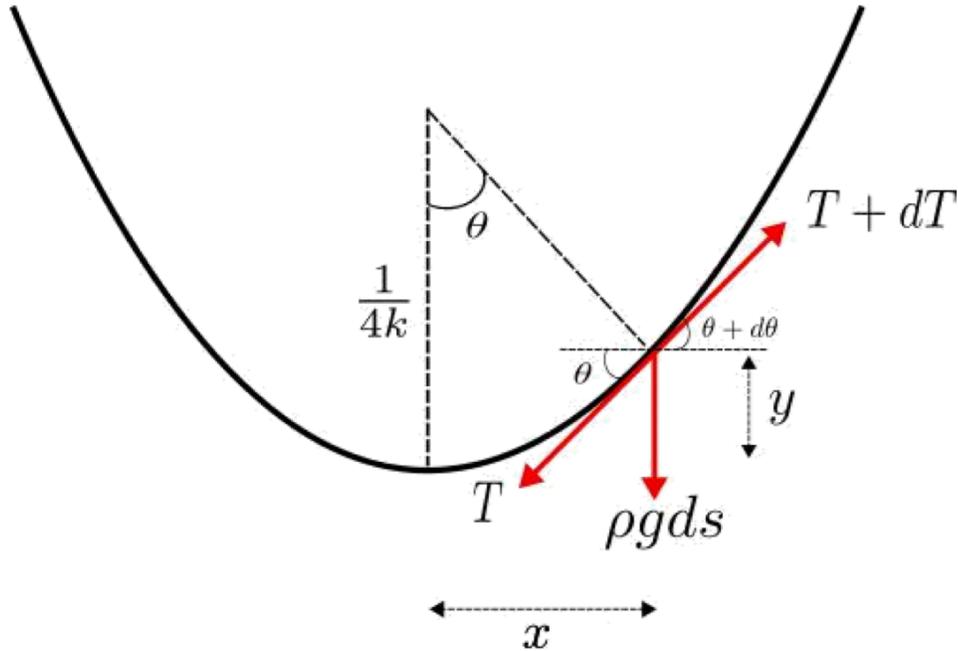
Radiowellen

Das LCRT, welches hier von den Schülern nachempfunden werden soll, ist ein Radioteleskop. Radioteleskope sind, wie der Name bereits sagt, Teleskope welche Radiowellen empfangen. Daher sehen sie deutlich anders aus im Vergleich zu optischen Teleskopen, die einige Hobbyastronomen vielleicht haben, und die man leicht mit sich herum transportieren kann.

Radiowellen haben eine Wellenlänge zwischen 1 mm–über einem Kilometer (zum Vergleich: optisches Licht liegt ca. zwischen 400–800 nm). Im Alltag begegnen sie uns zum Beispiel beim Radio oder in der Fernsehtechnik. Im Universum haben sie einen anderen Ursprung: dadurch, dass das Universum sich ausdehnt, wird das Licht „von früher“ quasi mit ausgedehnt. Daher erhoffen sich die Astronomen, durch die Messung dieser langen Wellenlängen Einblicke in das frühe Universum; sie wollen weiter in die Vergangenheit zurückschauen.

Mathematische Grundlagen

Das Teleskop auf dem Mond wird aus einer Art Netz bestehen, welches im Krater „hängt“. Das hängende Netz soll dabei eine parabelförmige Form annehmen. Die lineare Dichte der Drähte, aus denen das Teleskop aufgebaut ist, soll sich auch bei starken Temperaturunterschieden nicht ändern, d.h. es soll seine Form beibehalten. Das Ganze kann mathematisch beschrieben werden.



Credits: NASA

Eine Parabel lässt sich mit $y = kx^2$ beschreiben, wobei k eine Konstante ist. Durch das Kräftegleichgewicht, welches auf eine kleine Fläche ds wirkt (dargestellt durch die roten Pfeile in der Abbildung), erhält man:

$$dT = \rho g \sin\theta ds$$

$$T d\theta = \rho g \cos\theta ds$$

Für unsere Parabel ergibt sich: $dy = 2kx dx \Leftrightarrow ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} \Leftrightarrow ds = dx\sqrt{1 + 4k^2x^2}$

Außerdem erhalten wir aus der Abbildung: $\tan\theta = \frac{x}{\frac{1}{4k} - y}$

Aus den ersten beiden Gleichungen erhalten wir $\frac{dT}{T} = \tan\theta d\theta$, integrieren wir, ergibt das:

$T = \frac{T_0}{\cos\theta}$. Dies setzen wir nun für T in Gleichung 2 ein und erhalten $\frac{T_0}{\rho g} = \frac{ds}{d\theta} \cos^2\theta$. Nach

ein bisschen weiterem Rechnen erhält man schlussendlich den Ausdruck $\frac{\rho}{\rho_0} 8f^3 \frac{\sqrt{4f^2+x^2}}{(4f^2+x^2)^2}$

wobei f die Brennweite ist. Schlussendlich ergibt sich für das effektive Verhältnis der

linearen Massendichte $\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{\frac{2\pi x t^2}{N(x)} + \frac{\lambda}{4} t_0^2}{\frac{2\pi x_1 t_0^2}{N_0^2} + \frac{\lambda}{4} t_0^2}$

x_1 ist hier der Radius des ersten umlaufenden Drahtes, N_0 ist die Anzahl der radialen Drähte. Mit diesen Informationen kann nun die Variation der Dicke der Drähte bestimmt werden. Bei einem angenommenen Radius des Teleskopes von 500 m, würde sich eine Anzahl von 210 umlaufenden Drähten ergeben.

Aufgaben

Aufgabe 1: Warum ein Radioteleskop auf dem Mond?

Kurzfragen

Welche Vorteile hat ein Teleskop auf dem Mond gegenüber einem auf der Erde?

Welche Wellenlängen deckt das LCRT ab?

Welche Nachteile hat das Teleskop auf dem Mond?

Was für Schwierigkeiten gibt es beim Bau des Teleskopes auf der Rückseite des Mondes?

Aufgabe 2: Welcher Krater eignet sich am besten?

Die Wissenschaftler haben den Bereich der möglichen Krater auf circa 300 Stück eingeschränkt. Diskutiert darüber, welche Position besonders sinnvoll wäre: Was gibt es für Randbedingungen zu beachten?

Da die Auswahl in Wirklichkeit natürlich sehr lange dauert und 300 Krater den Rahmen einer Projektwoche etwas sprengen würden, ist hier eine Auswahl aus 5 Kratern. Wählt nun einen Krater aus und begründet, warum ihr gerade diesen ausgewählt habt, bzw. warum er sich eurer Meinung nach am besten für ein Radioteleskop eignet!

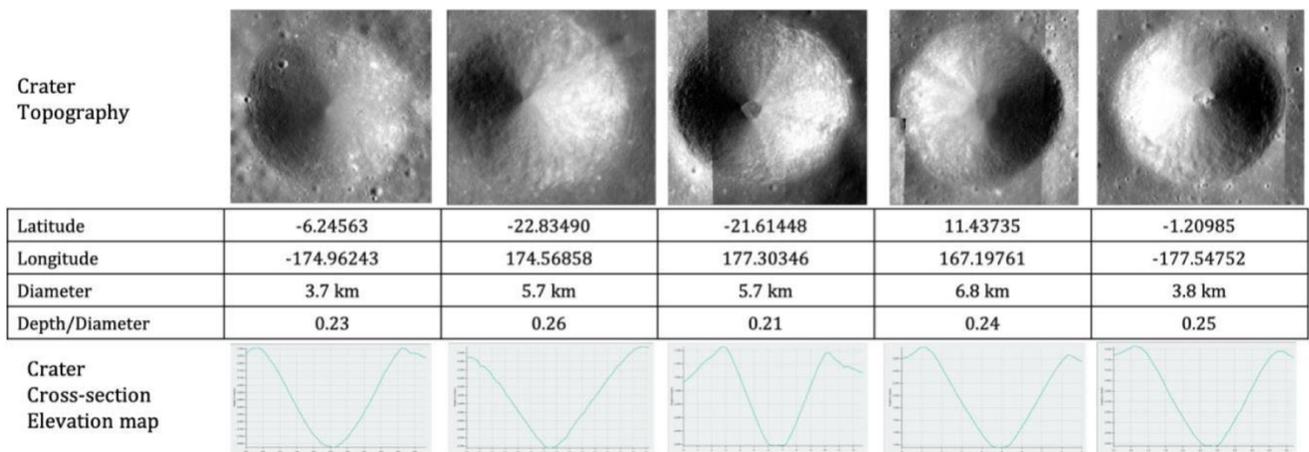


Abb.1: Auswahl der Krater

Aufgabe 3: Planung des Teleskopes

In dieser Aufgabe solltet ihr Euch Gedanken darüber machen, was alles für den Bau des Mondteleskopes berücksichtigt werden sollte. Diese Gedanken könnt ihr für den Bau eures eigenen Teleskopes in der nächsten Aufgabe nutzen.

Punkt 1: Der Krater

Der von den Wissenschaftlern ausgewählte Krater hat eine Tiefe von 960 m und einen Durchmesser von 3.82 km. Das d/D -Verhältnis (Tiefe zu Durchmesser) liegt bei 0.251. Der Krater ist außerdem sehr rundlich, hat keine Felsen oder ähnliches und einen flachen Rand. Warum ist das wichtig?

Punkt 2: Das Design

Das Teleskop wird aus einer Art Netz gebaut. Hierbei gibt es kreisförmige Seile sowie längsförmige Seile, die zusammengesetzt werden müssen. Macht Euch Gedanken darüber, wie viele rundumlaufende bzw. wie viele längsverlaufende Seile ihr benutzen könntet und wieso. Tipp: Ihr könnt Euch auch einfach überlegen, was für ein fertiges Netz ihr braucht bzw. wie engmaschig dieses sein sollte.

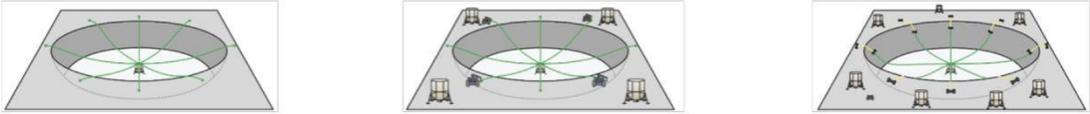
Außerdem gibt es bei Radioteleskopen immer eine Antenne, damit die Daten aufgenommen und verarbeitet werden können. Wo wird die Antenne auf dem Mond angebracht bzw. habt ihr eine Idee wie? Schreibt Eure Ideen dazu auf!

Punkt 3: Roboter

Zurzeit gibt es noch keine Mondbasis auf dem Mond. Das macht es für Menschen quasi unmöglich, das Teleskop komplett ohne Hilfe aufzubauen. Daher ist geplant, das Teleskop mithilfe von Robotern aufzubauen. Roboter würden mithilfe einer Rakete auf dem Mond landen (und sich ggf. mit Rovern fortbewegen). Die Seile für das Teleskop müssen nämlich am Rand des Kraters

verankert werden. Je nachdem, wie ihr euer Teleskop also bauen wollt, also wie viele Anker es beispielsweise haben soll etc. desto mehr Roboter könnten nötig sein. Ein weiterer Aspekt, für den Roboter notwendig sein könnten, ist das Errichten der Antenne des Teleskopes.

Der Nachteil: Roboter kosten sehr viel Geld. Das heißt, es muss ein Mittelweg gefunden werden zwischen möglichst wenig Robotern, aber auch geringem Risiko, dass etwas schief geht (je mehr Roboter, desto höher die Sicherheit).



Method	Projectile w/ passive anchors	Rovers & passive anchors (dropped by rovers or landed separately)		Rovers as anchors
Rovers	0	1	8	20 (1 per anchor)
Landers	LCRT & Deployment = 1	1 LCRT + 1 Deployment = 2	1 LCRT + 4 Deployment = 5	1 LCRT + 10 Deployment = 11
Deploy Time'	< 1 Earth day	74 Earth days	9 Earth days	4 Earth days
Redundant	Yes	None	Yes	Yes
Robustness	challenging to model/test, high terrain dependance, low heritage	none if primary rover fails, must survive the lunar night	minimum amount of rovers to deploy in a single lunar day	possible for extra rovers to retrieve lift wires for failed rovers
Landed Mass	20 projectile anchors = 2 mT	1 rover + 20 anchor = 0.3+2 mT	8 rover + 20 anchor = 2.6+2 mT	20 rover = 6.5 mT
Deploy Cost*	1 lander + 20 projectile [^] = \$150+10 M	2 lander + 1 rover = \$300+200 M	5 lander + 8 rover ^{**} = \$750+800 M	11 lander + 20 rover ^{**} = \$2+2 B
Total Cost	deploy + antenna ^{^^} = \$760 M	deploy + antenna ^{^^} = \$1 B	deploy + antenna ^{^^} = \$2.1 B	deploy + antenna ^{^^} = \$4.5 B

† Time assumes 2 cm/s avg. velocity and deployment of 20 lift wires
 * Lander includes launch vehicle (\$50 M/launch, \$100 M/lander)
 ** Rover cost 1/3 for multiple units
 ^ Projectile anchor cost \$1M/each
 ^^ Antenna system cost \$ 500 M

Credits: NASA

Abb 2.: Kostenverhältnis im Vergleich zum Aufbau des Teleskopes

Hier seht ihr einen Ausschnitt aus der Planung der Raumfahrtunternehmen. Ganz links seht ihr die Option mit einem Lander, welcher das Teleskop und das Zubehör absetzt. Dieses Teleskop hat keine passiven Anker bzw. keine Roboter, die helfen würden. Es wäre mit 760.000.000 \$ die günstigste Variante.

In der Mitte habt ihr 2 Optionen für dieselbe Verankerung: Einmal wird ein Rover gesendet sowie 2 Lander. Das Ganze kostet 1 Milliarde \$. Bei Option 2 habt ihr 8 Rover sowie 5 Lander, das würde dann aber schon 2.1 Milliarden \$ kosten.

Ganz rechts würden die Rover selbst als Anker fungieren, das heißt es würden 20 Rover gesendet werden (also 20 Anker) und 11 Lander. Diese Mission würde dann schon 4.5 Milliarden \$ kosten.

Nun seid ihr gefragt. Welche Option würdet ihr wählen und wieso? Begründet Eure Antwort!

Aufgabe 4: Bau des Teleskopes

Nun sollt ihr selbst euer Teleskop bauen! Ihr könnt es natürlich so groß bauen, wie ihr möchtet, evtl. wäre es hilfreich, sich hier mit weiteren Gruppen eurer Klasse zusammensetzen.

- Strohhalme o.Ä. in 4 verschiedenen Farben (z.B. gelb, orange, blau und rot):
 - o Gelb: 16 Stücke mit jeweils 11.5 cm Länge
 - o Orange: 32 Stücke mit jeweils 11.5 cm Länge
 - o Blau: 16 Stücke mit jeweils 11.5 cm Länge
 - o Rot: 32+ 48 Stücke mit jeweils 8.75 cm Länge
- Schnur die durch die Strohhalme passt
- Metalldraht (ca. 80 cm Länge)

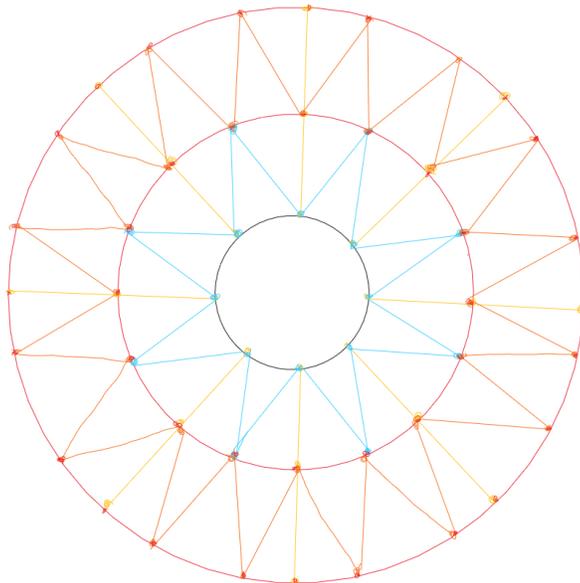


Abb.3: So soll das Teleskop fertig aussehen. Dies ist keine maßstabsgetreue Skizze, sie dient nur zur ungefähren Orientierung

Schritt 1: der innere Kreis

Mit dem Metalldraht einen Kreis mit einem Durchmesser von ca. 23 cm formen. Dieser Kreis ist der innere (schwarze) in der Skizze.

Schritt 2: die gelben Längsbalken

Nun einen Faden durch jeweils 2 gelbe Strohalmstücke fädeln, sodass ihr am Ende jeweils 8 Fäden mit je 2 gelben Strohalmstücken habt. Achtet darauf, die Schnur etwas länger zu lassen, damit ihr noch Platz für die Knoten habt.

Nun ein Ende der Fäden jeweils am schwarzen inneren Kreis befestigen.

Schritt 3: der mittlere Kreis

Nehmt einen langen Faden. Knotet ihn zwischen 2 gelben Strohhalmen fest. Fädelt nun jeweils 4 rote Stücke auf den Faden, knotet den Faden dann wieder zwischen 2 der gelben Strohhalme fest, etc. bis ihr wieder bei eurem Ausgangspunkt angekommen seid. Das Fadenende am besten wieder da festmachen, wo auf er Anfang festgeknotet ist. Insgesamt braucht ihr hier 32 Stücke vom roten Strohalm.

Schritt 4: der äußere Kreis

Für den äußeren Kreis braucht ihr nun 48 der roten Strohalmstücke. Nehmt einen langen Faden und knotet ihn bei einem Ende eines der gelben Fadenenden fest. Jetzt steckt jeweils 6 rote Stücke Strohalm auf den Faden und bindet dahinter das nächste Ende eines der gelben Stücke fest. Macht dies weiter, bis ihr wieder am Ausgangspunkt angekommen seid, und knotet hier wieder euer Ende fest.

Schritt 5: die blauen Stücke

Die blauen Stücke sind wie in der Skizze zu sehen, jeweils zwischen den gelben Längsstreben und dem inneren und mittleren Kreis. Befestigt also immer zwischen je 2 roten Strohhalmen im mittleren Kreis einen blauen Strohalm und jeweils bei den gelben Längsstreben die blauen Enden.

Schritt 6: die orangenen Stücke

Die orangenen Stücke sitzen zwischen dem mittleren und äußeren Kreis. Befestigt beim äußeren Kreis wieder im Abstand von 2 roten Strohhalmen ein Ende für ein orangenes Stück und auch wieder im Abstand von 2 Strohhalmen ein Ende im mittleren Kreis.

Abschließende Kurzfragen:

Könnt ihr euch vorstellen, wie genau das Teleskop so auf dem Mond gebaut werden soll bzw. dort hin transportiert werden soll?

Warum genau sollen mehrere kleinere Stücke z.B. vom roten Strohalm genutzt werden und nicht weniger mit der insgesamt gleichen Länge?

Links

ESA Ressourcen

ESERO Germany Webseite: www.esero.de

ESERO Germany Arbeitsblätter: www.esero.de/materialien/arbeitsblaetter

ESA classroom resources: www.esa.int/Education/Classroom_resources

ESA Kids Homepage: www.esa.int/kids

Quellen

Titelbild:

https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/2020_Phase_I_Phase_II/lunar_crater_radio_telescope/

Kraterauswahlbild:

https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/niac_2020_phi_bandyopadhyay_lcrt_tagged.pdf

Planung/Projektskizze des LCRTs:

<https://www.nasa.gov>