



Meteor-Krater bei Flagstaff, Arizona (ca. 20.000 Jahre alt)

Ein Gerät zur Simulation von Meteoriteneinschlägen

Wettbewerb „Schüler Experimentieren“ 2000

Nikolas Biedermann (14 Jahre)

**Arbeitsgemeinschaft „Jugend Forscht“
des Christian-Gymnasiums Hermannsburg**

Leitung: StD Thomas Biedermann

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Verwirklichung der Idee	3
2.1 Was habe ich gemacht?	3
2.2 Der Versuchsaufbau	4
3. Die Versuche	5
3.1 Kieselstein 1	5
3.2 Kieselstein 2	7
3.3 Kieselstein 3	8
3.4 Sand	9
3.5 Wasser	11
4. Auswertung der Versuchsergebnisse	12
4.1 Auffälligkeiten der Krater	12
4.2 Vergleich mit reellen Kratern	14
5. Danksagung	17
6. Literaturliste	17

1. Einleitung

Wie kam ich auf das Thema? Gute Frage! Im Februar des Jahres 1998 kam das Gerücht auf, dass Astronomen im Weltraum einen Meteor ausgemacht hätten, der in etwa dreißig Jahren nahe an der Erde vorbeifliegen oder sie sogar treffen würde. Daraufhin kamen in den folgenden Wochen eine ganze Menge Filme, in denen ein Meteor eine wichtige Rolle spielt. Meistens steht er kurz davor, die Erde zu zerstören. In letzter Minute wird das natürlich verhindert. Doch ich überlegte mir dann einmal: Wie würde es denn tatsächlich aussehen, wenn ein Meteor auf die Erde einschlagen würde? Deshalb begann ich mit den ersten Überlegungen für dieses Projekt. Allerdings blieb mir im letzten Jahr nicht mehr genug Zeit, um dieses Vorhaben zu schaffen. Ehrlich gesagt, ich hatte einfach zu lange gewartet. Deshalb hob ich mir das Projekt für dieses Jahr auf.

Mir war von Anfang an klar, dass die Simulation nicht besonders realistisch werden kann, jedenfalls nicht so, wie ich sie mache. Denn wie soll ich mit meinen Kieselsteinen eine enorm starke Druckwelle auslösen oder ein riesige Staubwolke in die Atmosphäre werfen, die die Sonne viele Jahre lang verdunkelt? Aber ich habe mich bemüht, doch noch ein gewisse Realität beizubehalten.

2. Verwirklichung der Idee

2.1 Was habe ich gemacht?

Ich hatte mir vorgenommen, eine Apparatur zu bauen, die es mir ermöglicht, Geschosse mit hoher Geschwindigkeit kontrolliert in eine Richtung zu schleudern. Zuerst spielte ich mit dem Gedanken, eine Zentrifuge zu bauen, doch diese Idee erwies sich als sehr schwierig, für mich eher schon undurchführbar, da man ein sehr stabiles Drehgelenk gebraucht hätte und die Zentrifuge selbst absolut symmetrisch hätte sein müssen.

Daraufhin hatte ich die Idee, etwas zu bauen, das einem Gewehr ähnelt, nur dass es durch eine starke Feder angetrieben wird statt durch eine chemische Verbrennung. Allerdings scheiterte das daran, dass ich keine Möglichkeit hatte, zu verhindern, dass mir meine Geschosse schon vor dem Abschuss aus dem Rohr fielen.

Deshalb kam ich letztendlich zu dem Entschluss, dass es wohl am einfachsten wäre, einfach auf ein altbewährtes Instrument zurückzugreifen - das Katapult. Dieses wird im nächsten Kapitel ausführlich beschrieben.

Mit diesem Gerät schoss ich nun verschiedene Objekte auf einen mit Sand gefüllten Kasten ab und beobachtete die dabei auftretenden Krater und sonstige Merkmale des Schusses (Streuung, erneutes Abheben des Meteors, unregelmäßiger Form der Krater).

Dabei benutzte ich verschiedene Schussobjekte, nämlich Wasser, Sand und drei verschiedene Steine. Der kleinste Stein wog 4g, der mittlere 14g und der größte wog 34g. Nach dem Schuss trug ich die beobach-

teten Merkmale des Schusses in ein Versuchsprotokoll (siehe Anhang) ein. In dieses zeichnete ich auch den Krater ab, und zwar einmal von der Seite und einmal von oben. Dabei versuchte ich so viele Details wie möglich mit in die Zeichnung einzubeziehen.

2.2 Der Versuchsaufbau

Wie schon gesagt benutzte ich bei meinem Aufbau zur Beschleunigung der Gegenstände ein Katapult. Da auf dieses Katapult enorme Kräfte wirken, musste es natürlich äußerst stabil sein. Aus diesem Grund kam als Material für diese Konstruktion nur Stahl in Frage. Aus Stahlrohren baute ich ein Gerüst, das als Basis für meine Apparatur dienen sollte. Dieses ist in *Abb. 1* dargestellt. Zunächst baute ich einen Aluminiumarm ein, von dem aus ich meine Kieselsteine abschießen wollte. Allerdings verformte sich der Arm nach den bereits ersten fünf Probeschüssen sehr stark. Aus diesem Grund musste ich auch hier einen Stahlarm (1) einbauen, doch auch dieser ist mittlerweile schon ziemlich in Mitleidenschaft gezogen worden. Der einzige Nachteil eines Stahlarmes ist, dass die erzielbare Geschwindigkeit geringer ist, aber damit kann ich leben. Theoretisch kann man diese Geschwindigkeit aus der Federkonstante der Feder und der zu beschleunigenden Masse berechnen, aber dazu fehlen mir die entsprechenden Grundlagen aus der Physik. Eine grobe Abschätzung für den Aluminiumarm ergab einen Zahlenwert von über 100 m/s, die ich aber mit der größeren Masse des Stahlarmes vermutlich nicht erreichen kann.

Der Stahlarm wird vor dem Abschuss von einer Zange (2) festgehalten und gesichert. Durch einen leichten Ruck an dem Sicherungsstift wird dann der Schuss ausgelöst.

Um eine hohe Geschwindigkeit des Armes zu erreichen braucht man natürlich auch einen Antrieb. Ich benutze bei meinem Aufbau eine sehr stabile Feder (3), deren Federkonstante bei etwa 5000 N/m liegt.

Diese ist auf etwa 20 cm vorgehnt, um eine höhere Geschwindigkeit zu erreichen, und mit einem Stahlseil (4) an dem Arm befestigt. Da ich die Miniaturmeteoriten mit verschiedenen Winkeln auf die Sandoberfläche auftreffen lassen will, ist das Katapult schwenkbar auf eine

Platte montiert. Hier ist es an der einen Seite durch eine Achse drehbar befestigt, hinten ist zusätzlich ein Vierkantrohr (5) angebracht, mit dem man den Aufbau auf verschiedene Höhen einstellen und damit die Winkel verändern kann.

Die Geschosse habe ich in einen Sandkasten geschleudert, der auf der Rückseite höhenverstellbar ist, um auch hier noch eine Nachregulierung des Schusswinkels zu ermöglichen. In diesem Sandkasten

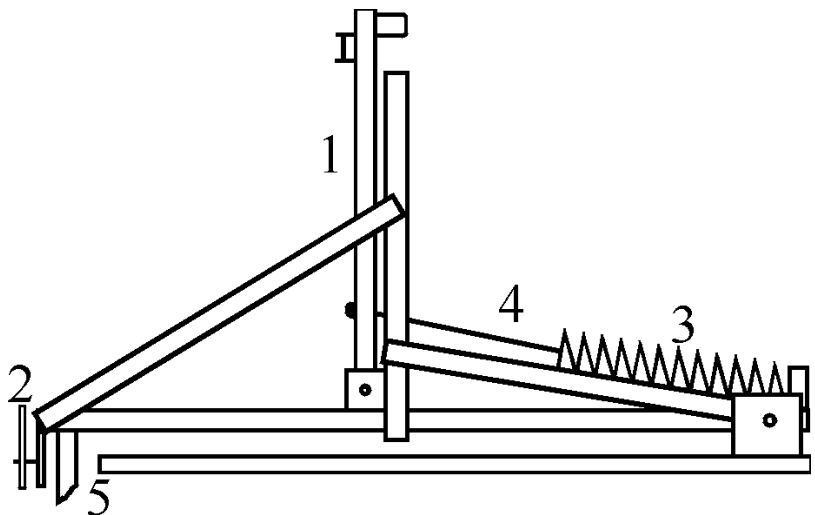


Abb. 1: Das Katapult - Kernstück meines Versuchsaufbaus

befindet sich sehr feiner Aquariumsand aus der Zoohandlung, um so die Simulation noch realistischer zu machen. Denn da ich ja nur mit kleinen Meteoriten schießen kann, muss ich als "Erde" ein Material benutzen, das sich sehr leicht bewegen lässt, um so wieder die richtigen Verhältnisse zu schaffen. Dieser Sand ist sehr fein und lässt sich deswegen auch sehr leicht bewegen. Versuche mit normalem Sand aus unserem Garten haben gezeigt, dass die Krater damit sehr unregelmäßig ausfallen und kaum reproduzierbar sind. Zum Vorspannen der Feder verwende ich eine lange Gewindestange mit einer Mutter, die an der Feder und dem Schlagarm eingehängt werden kann und somit ein verhältnismäßig einfaches Spannen der sehr harten Feder ermöglicht.

3. Die Versuche

3.1 Kieselstein 1

Masse: 4 g

Ausmaße: 1 x 1,3 x 2 cm

Mit diesem Stein schoss ich aus fünf verschiedenen Winkeln auf den Quarzsand: 15° , 20° , 25° , 35° , 55° und 75° . Der merkwürdige Sprung in den Winkeln liegt daran, dass ich nach den ersten paar Versuchen merkte, dass sich der Stahlarm langsam aber sicher immer mehr verformte. Da ich nicht wusste, wie lange der Arm es noch aushalten würde, wollte ich erst einmal sicher gehen und aus jedem Bereich der Skala einen Schuss abgeben, damit ich überhaupt einen Eindruck bekomme, wie die Ergebnisse aussehen werden.

Beim ersten Schuss stellte ich das Katapult auf 15° ein. Dabei entstand ein Krater von etwa 10 cm Länge. Der Krater war allerdings nur 1 cm tief, was wohl daher kam, dass der Aufprallwinkel sehr flach war. Das ist auch der Grund, warum der Stein nach dem Aufprall wieder absprang und in dem Auffangtuch hinter dem Sandkasten landete. Die Form des Kraters erinnert stark an ein Ei. In der Umgebung des Kraters lagen viele im Sand enthaltene Kalkstückchen auf der geebneten Fläche herum, die wohl durch den Einschlag aus dem Gebiet des Kraters herausgeschleudert wurden. Außerdem ist der typische Kraterrand zu erkennen, auch wenn nur sehr schwach.

Beim zweiten Schuss unter dem Winkel von 20° war dieser Kraterrand schon besser zu erkennen, da der Krater hier etwas tiefer war als zuvor, nämlich 1,5 cm.

Die Länge des Kraters war aber genauso groß wie vorher, 10 cm. Auch bei diesem Schuss war der Stein erneut abgesprungen, allerdings landete er immer noch im Krater, da der Abprallwinkel zu flach war, als dass er

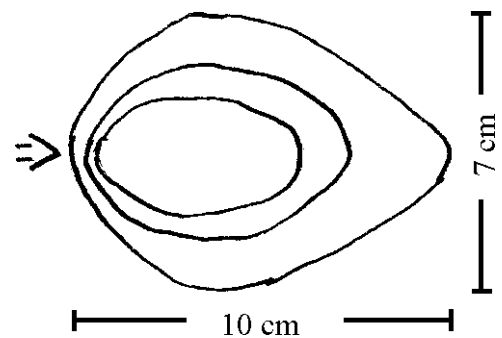


Abb.2: Dieser Krater entstand beim Winkel von 15°

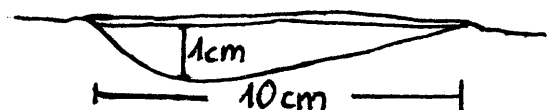


Abb.3: Und so sieht das im Querschnitt aus

den Kraterrand hätte überwinden können. Bei diesem Abprallen war das Geschoss ein wenig vom Kurs abgekommen, denn es landete leicht seitlich versetzt von der eigentlichen Schussbahn. Und ebenso wie beim letzten Schuss landeten wieder einige Kalksteinchen auf der planierten Fläche.

Beim dritten Schuss, bei dem ich das Katapult auf den Winkel 25° einstellte, gab es einen sehr interessanten Zusatzeffekt: es bildeten sich nämlich zwei Krater. Der erste Krater war 9 cm lang und etwa 2 cm tief. Auch er war wieder eiförmig geformt. Aber nach dem Abprallen des Geschosses aus diesem Krater landete der Kiesel erneut im Sandkasten und bildete einen zweiten, 23 cm entfernten und nur ca. 4 cm langen Krater, der 5 mm tief war. Hier sprang der Stein erneut ab und landete etwa 4 cm vom zweiten Krater entfernt im Sandkasten. Etwas Sand wurde von dem Geschoss aus dem Kasten herausgeschleudert und in der Nähe der beiden Krater lagen mehrere Kalkstückchen herum. Beim ersten Krater ist der Kraterrand jetzt schon deutlich ausgeprägt, beim zweiten Krater ist er so gut wie gar nicht zu erkennen.

Das Ergebnis des vierten Schusses unter einem Winkel von 33° unterschied sich nicht wesentlich von dem des dritten Schusses. Auch hier war der Krater eiförmig, allerdings diesmal nur 9 cm lang und 2 cm tief und es bildeten sich durch das erneute Aufprallen des Kiesels zwei andere Krater, die direkt aneinander lagen. Dabei liegt der erste der beiden Krater etwa 10 cm von dem ursprünglichen Auftreffpunkt entfernt. Der zweite Krater war 3 mm tief und 1,5 cm lang. Dann kamen 5 mm, auf denen nur ein wenig des Sandes abgetragen war und dann kam der dritte Krater, der ebenfalls 1,5 cm lang, aber 5 mm tief war. Auch hier liegen wieder jede Menge Kalkstückchen um die Krater verstreut herum.

Im fünften und vorletzten Schuss betrug der Aufprallwinkel etwa 55° . Ganz genau kann ich das nicht mehr sagen, da zu diesem Zeitpunkt der Schlagarm bereits um $1-2^\circ$ verbogen war. Bei diesem Schuss entstand diesmal kein eiförmiger sondern ein fast schon kreisförmiger Krater. Dieser war dann auch nur noch 7 cm lang und 7 cm breit, dafür aber 1,5 cm tief. Jedenfalls war das die sichtbare Tiefe, denn zuerst konnte ich den Stein selbst nicht erkennen. Erst beim Messen stieß ich mit dem Stahllineal auf einen Widerstand und siehe da: Der Stein war von dem feinen Sand wieder überschwemmt worden und deshalb nicht sichtbar gewesen. Die tatsächliche Tiefe des Kraters betrug also 3 cm von der Oberfläche der ebenen Fläche bis zur Unterkante des Steines. Auch bei diesem Versuch fand ich viele kleine Kalkstückchen in der Umgebung des Kraters. Der Kraterrand war bereits deutlich zu erkennen, jedoch noch zu klein, als dass ich ihn richtig hätte messen können.

Beim letzten Versuch stellte ich das Katapult für einen Winkel von 75° ein. Hierbei war der Krater 8 cm groß, dafür aber schon 2 cm tief. Auch die Breite betrug 8 cm und somit sah der Krater fast kreisrund aus. Der Stein, mit dem ich geschossen hatte, war hier erneut unter dem Sand begraben, diesmal allerdings mehr in der Mitte als beim 55° -Schuss. Deshalb ergab sich mit dem Loch, wo der Stein drinsteckte eine Tiefe von 4 cm. Der Auswurf war sehr deutlich zu erkennen und betrug etwa 2 mm. Außerdem befanden sich in der Nähe des Kraters viele kleine Kalkstückchen auf der Oberfläche. Beim Aufprall wurde auch etwas Sand aus dem Kasten herausgeschleudert.

3.2 Kieselstein 2

Masse: 14 g

Ausmaße: 2,3 x 1,6 x 3,1 cm

Dieses Geschoss benutzte ich unter den verschiedenen Aufprallwinkeln 15° , 20° , 35° , 55° und 75° .

Beim ersten Schuss unter dem Winkel 15° kam ein 14 cm langer, eiförmiger Krater mit einer Breite von 9 cm zustande. Die Tiefe dieses Kraters betrug 1,5 cm. Auch dieser Stein sprang trotz seiner größeren Masse, wie schon der Kieselstein 1, nach dem Aufprall erneut ab und landete im Auffangtuch. Und wie schon bei allen vorherigen Versuchen fand ich in der Umgebung des Kraters viele Kalkstückchen, nur dass sie diesmal noch weiter verteilt wurden, als zuvor. Der Rand war sehr deutlich zu erkennen und betrug etwa 3 mm.

Beim zweiten Schuss mit 20° entstand ein ähnlicher eiförmiger Krater, der auch 14 cm lang war, allerdings in der Breite 10 cm maß. Die Tiefe betrug hier 2,5 cm. Der aufgeworfene Rand war klar zu erkennen, beträgt aber wieder nur 2 mm. Dafür flog aber mehr Sand über die Kastenbegrenzung hinweg und landete irgendwo auf dem Fußboden. Und wieder fand ich viele kleine Kalkstückchen in der Nähe des Kraters. Der Stein prallte beim Aufschlag ab und landete im Tuch.

Beim dritten Schuss mit dem Winkel 35° sprang der Stein erneut ab, landete aber noch im Krater. Der eiförmige Krater war nur noch 10 cm lang und 8 cm breit und die Tiefe betrug 2,2 cm. Als ich allerdings von der Unterkante des Steines die Tiefe gemessen hatte, musste ich diese auf 2,5 cm korrigieren, da der Stein tiefer eingesunken war, als zuvor. Neben dem Kraterrand, der wieder etwa 4 mm beträgt, finde ich erneut viele Kalkstückchen, die auf der Sandfläche herumliegen.

Beim vierten Schuss hatte ich das Katapult auf den Winkel 55° eingestellt. Der Krater der bei diesem Schuss entstand, war immer noch leicht eiförmig. Die Länge betrug 11 cm und die Breite 10 cm. Die Tiefe des sichtbaren Kraters betrug 3 cm. Der Rand betrug dennoch 5 mm, dafür war sehr viel Sand aus dem Kasten herausgeschleudert worden. Bei der Suche nach dem Stein fand ich ihn schließlich senkrecht unter dem Kraterboden begraben. Von der Unterkante dieses Steines bis zur Oberfläche waren es dann schon etwa 4,5 cm. Außerdem fand ich wieder Kalkstückchen in der Umgebung des Kraters.

Beim letzten Schuss kam der Stein mit einem Winkel von 75° auf und bildete einen 11 cm langen Krater, der auch etwa 11 cm breit war. Diese Tiefe dieses fast kreisförmigen Kraters lag bei 2,8 cm von Boden bis Oberfläche. Dazu kamen allerdings noch einmal 1,5 cm hinzu, denn wieder lag das Geschoss unter dem Sand am Kraterboden begraben. Diesmal allerdings nicht so tief, denn die Lage des Steines war ganz

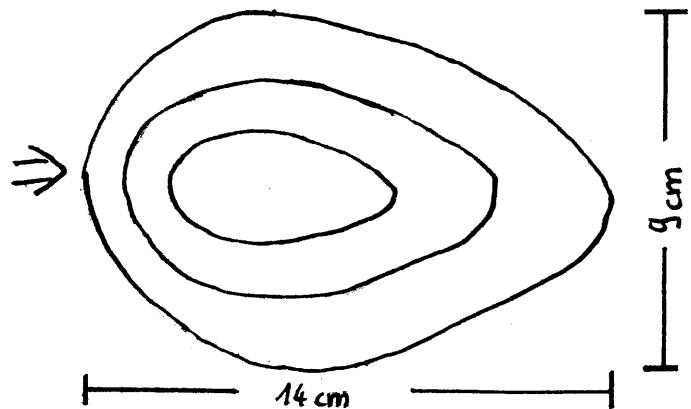


Abb.4: Ein Einschlag bei 15° sieht so aus

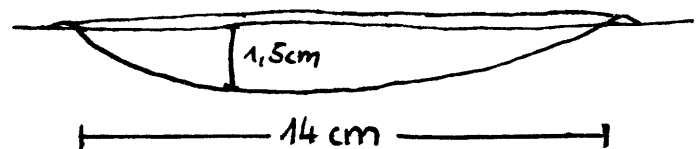


Abb.5: Das ist der passende Querschnitt dazu

anders. Letztendlich ergab sich also eine Tiefe von 4,3 cm. Neben diesem Krater waren eine Menge Kalkstückchen um den Kraterrand, der etwa 3 mm hoch war, verteilt. Eine Menge Sand flog auch aus dem Kasten heraus.

3.3 Kieselstein 3

Masse: 34 g

Ausmaße: 2,4 x 2,7 x 4,5 cm

Mit diesem Stein führte ich ebenfalls fünf Messungen durch: 15°, 20°, 35°, 55° und 75°.

Bei der ersten Messung mit dem Winkel 15° entstand ein mit 19 cm Länge relativ großer Krater, der auch schon fast 2 cm tief war, trotz des flachen Einschusswinkels. Die Breite betrug etwa 12 cm. Sehr bemerkenswert ist, dass der Stein trotz seines Gewichts nach dem Aufprall wieder abprallte und im Auffangtuch hinter dem Kasten landete. Der Kraterboden und auch der Kraterrand waren sehr flach (2 mm). Stattdessen ist eine große Menge Sand aus dem Kasten herausgeschleudert worden. Und wie auch schon bei den Versuchen zuvor waren in der Nähe des Kraters eine Menge der kleinen Kalkstückchen zu finden.

Auch bei der zweiten Messung, bei der der Einschlagwinkel 20° betrug, waren diese Stückchen zu finden. Der

Krater war diesmal 21 cm lang, wobei er eigentlich aus zwei aneinandergesetzten Kratern bestand. Der erste Krater war durch den ersten Aufprall entstanden, war 17 cm lang, 12 cm breit und besaß eine Tiefe von 2,6 cm. Direkt hinter diesem Krater, eigentlich noch in ihm, begann der zweite Krater, der nur noch 6 cm lang war, in der Breite 5 cm maß und 1,7 cm tief war. Er entstand wahrscheinlich durch eine Drehung des Steines, was bedeuten soll: der Stein ist genau so mit der Spitze aufgekommen, dass er zwar wieder abgesprungen ist, allerdings mit einer torkelnden Bewegung und deshalb unmittelbar anschließend ein zweites Mal aufgeschlagen ist. Der Stein blieb in dem zweiten Krater liegen, so dass man annehmen kann, dass er durch diese torkelnde Bewegung sehr viel von seiner Bewegungsenergie eingebüßt hat. Der Kraterrand ist diesmal etwa 4 mm hoch, es wurde aber auch noch eine Menge Sand aus dem Kasten herausgeschleudert.

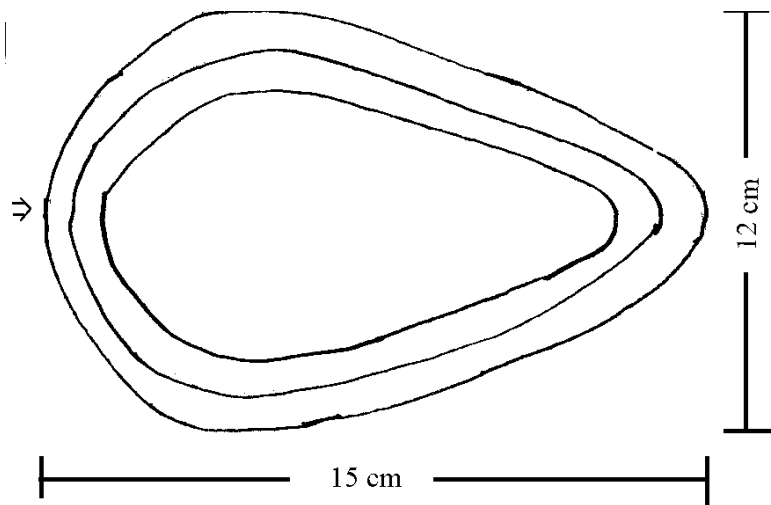


Abb.6: Dieser Krater entstand beim Winkel von 15°

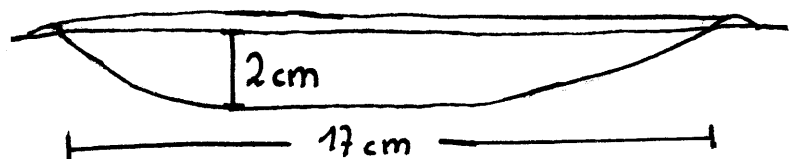


Abb.7: Wie auch Abb.6 stammt diese Zeichnung aus dem Versuchprotokoll des 3. Kieselsteins bei 15°

Beim dritten Versuch betrug der Einschlagswinkel 35° . Dabei entstand erneut ein eiförmiger Krater, der etwa 15 cm lang und 10 cm breit war. Die Tiefe betrug an der tiefsten Stelle 2,7 cm. Es bildete sich ein etwa 6 mm hoher Kraterrand. Sehr auffällig am Inneren des Kraters war, dass sich eine sehr schmale Rille vom Aufprallzentrum entlang der Flugrichtung zog. Außerdem sehr interessant war, dass der Stein von diesem Krater absprang, dann eben diese Rille zog, 31 cm weiter erneut aufkam, sich dort zweimal überschlug und dann liegenblieb. Dabei bildeten sich drei kleine, direkt hintereinander liegende Krater, keiner tiefer als 5 mm. Der erste der drei Krater war sehr gleichmäßig geformt, etwa 3 cm lang, auch 3 cm breit und 3 mm tief. Zwischen diesem Krater und dem nächsten befand sich ein 5 mm langes Stück, bei dem nur leicht Sand abgetragen wurde. Der zweite Krater war 4 cm lang, ebenfalls 3 cm breit und 4 mm tief. Er war auch schon ein wenig mehr in die Länge gezogen. 2 cm davon entfernt, wobei bei diesen 2 cm ebenfalls eine dünne Schicht Sand abgetragen wurde, lag der dritte Krater war er 4 cm lang und auch 3 cm breit, die Tiefe betrug 4 mm. Allerdings war er sehr merkwürdig geformt, fast wie ein Schneckenhaus. Diese merkwürdige Form ist wahrscheinlich dadurch zustande gekommen, dass sich der Stein um eine seiner Spitzen gedreht hat und dann nach hinten hin umgefallen ist. Diesmal waren die Kalkstückchen über den ganzen Kasten verteilt.

Beim vierten Versuch kam der Stein unter einem Winkel von 55° auf der Sandoberfläche an. Hierbei bildete sich ein 12 cm langer und breiter Krater, der fast rund war. Die Tiefe bis zur Oberfläche vom Kraterboden aus gemessen betrug 3 cm. Allerdings konnte ich schon da erkennen, dass der Stein selber viel tiefer gelandet sein muss, denn er war zu zwei Dritteln im Sand verschüttet. Von der Unterkante dieses Steines aus gemessen, ergab die Tiefe schon 5,5 cm. Vom tiefsten Punkt des sichtbaren Kraters zog sich eine Furche zu dem Platz an dem der Kiesel lag. Der Kraterrand war diesmal etwa 4 mm groß, allerdings war eine Menge Sand aus dem Kasten herausgeschleudert worden. Im ganzen Kasten waren Kalkstückchen verteilt, besonders viele lagen allerdings direkt am Kraterrand.

Im fünften und letzten Schuss war das Katapult auf einen Einschlagswinkel von 75° eingestellt. Auch hier entstand ein eiförmiger Krater, allerdings war diese Form nicht mehr ganz so stark ausgeprägt. Der Krater ist 14 cm lang und 12 cm breit. Die sichtbare Tiefe beträgt 2,5 cm. Beim genaueren Suchen nach dem Stein stellte sich jedoch heraus, dass der Stein unter einer etwa 1,5 cm dicken Schicht unter dem Boden des Kraters begraben war. So ergab sich, wenn man von der Unterkante des Steines aus maß, eine Tiefe von 6,4 cm. Aufgrund dieser großen Gesamttiefe des Kraters war es nicht sonderlich überraschend, dass der Kraterrand mit 5 mm relativ hoch ausfiel. Und, wie auch nicht anders zu erwarten, lagen im ganzen Kasten verstreut viele kleine Kalkstückchen.

3.4 Sand

Masse: 12 g

Um mit dem Sand schießen zu können, musste ich ihn zunächst kenntlich machen, um erkennen zu können, wo die einzelnen Bestandteile der Ladung hingeschleudert wurden. Aus diesem Grund füllte ich ein Gefäß mit Sand und färbte diesen blau. Nun konnte ich mit diesem Sand die beabsichtigten Messungen machen, und das waren Schüsse unter den Winkeln 15° , 35° , 55° und 75° .

Beim ersten Schuss mit dem Sand stellte ich den Winkel auf 15° ein. Bei diesem Schuss bildete sich dann ein Krater von 12 cm Länge und 7 cm Breite. Die Tiefe des Kraters betrug an der tiefsten Stelle 7 mm. Der Sand prallte fast vollständig von der Aufprallfläche ab und landete im Auffangtuch, was ich dank des Blautones des Sandes gut beobachten konnte. Auch bei diesem Schuss bildete sich ein Kraterrand, aber dieser war extrem flach und eigentlich kaum noch zu erkennen. Diesmal konnte ich keine Kalkstückchen um den Krater herum entdecken, jedenfalls nicht in dem Maße, wie ich es zuvor bei den anderen Versuchen beobachtet hatte. Sehr interessant war auch die Form des Kraters, denn dieser war, anders als sonst, mit dem spitzeren Ende dem Katapult zugekehrt, während die breitere Seite entgegengesetzt war. Das dürfte wohl an der Streuung des Sandes zurückzuführen sein

Beim zweiten Schuss mit dem Winkel 35° entstand ein Krater, der stark an eine stumpfe Ellipse erinnert. Seine Länge betrug 12 cm, seine Breite 7 cm. Allerdings betrug die Tiefe diesmal schon 1,5 cm. Hierbei war sehr interessant, dass der meiste Sand im Krater selbst liegen blieb. Der Rest des Sandes landete in einem Kegel von etwa 30 cm Länge, dessen spitzes Ende dem Krater abgewandt war. Auch hier war der entstandene Kraterrand kaum der Rede wert, aber er war zumindest in Ansätzen vorhanden.

Beim dritten Schuss schlug der Sand unter einem Winkel von 55° ein. Dabei bildete sich ein schon ziemlich runder Krater mit der Länge 8,5 cm und der Breite

von 8 cm. Der Querschnitt des Kraters war sehr merkwürdig geformt, so gab es in dem "normal" geformten Krater eine zusätzliche Vertiefung. An dieser Stelle betrug die Tiefe 2 cm. Der zweite, "normale" tiefste Punkt war 1,5 cm tief. Der Kraterrand war wie schon zuvor nicht besonders groß, schätzungsweise 0,5 - 1 mm. Der Sand, mit dem ich geschossen hatte, landete so gut wie vollständig im Krater, wobei der meiste Teil neben der Vertiefung lag. Ich könnte mir vorstellen, dass dies dadurch zustande gekommen ist, dass der aufprallende Sand vom Boden zurückgeworfen und auf die unmittelbare Umgebung verteilt worden ist. Und im Gegensatz zu den vorherigen Schüssen mit dem Sand finde ich in der Umgebung des Kraters wieder Kalkstückchen, die aber nicht von dem Schusssand stammen, da diese blau gefärbt wären.

Im vierten und letzten Schuss mit dem Sand traf dieser in einem Winkel von 75° auf die Erde auf. Der Krater war 10 cm lang und 8 cm breit. Dabei betrug die größte Tiefe 3 cm, wobei diese Stelle auch ziemlich genau in der Mitte des Kraters lag. Daran erkennt man, dass der Krater sehr gleichmäßig nach innen abfällt. Der gesamte Sand landet im Krater, vor allem an der tiefsten Stelle landet sehr viel. Um den Krater herum findet man viele Kalkstückchen, die aus dem "Sandkasten"-Sand stammen. Der Kraterrand ist diesmal etwa 2 mm hoch.

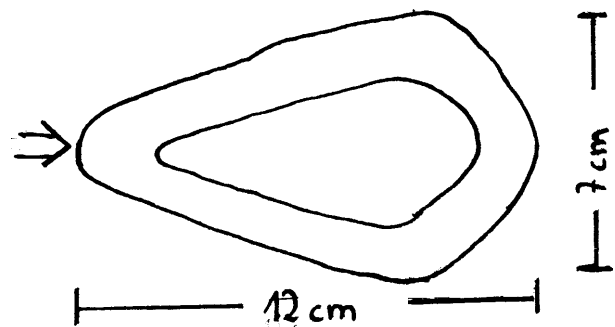


Abb.8: Mit Sand geschossen entstand beim Winkel von 15° dieser Krater

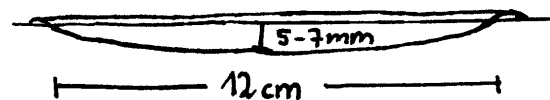


Abb.9: Die dazu passende Querschnittsansicht

3.5 Wasser

Masse: 16 .. 4 g

Bei diesem Geschossmaterial musste ich im Unterschied zu den vorherigen Versuchsreihen unterschiedliche Mengen benutzen, da mit zunehmender Schräglage des Abschussbehälters nur eine begrenzte Einfüllhöhe möglich war. So konnte ich bei den ersten drei Schüssen noch 16 ml Wasser benutzen, bei dem vierten Schuss konnte ich nur noch 7,4 ml hineinfüllen und beim fünften Schuss waren auf Grund der Schräglage nur noch 4 ml möglich. Wie aus dem Text entnehmbar, habe ich mit diesem Wasser, trotz dieser Schwierigkeiten fünf Messungen gemacht: 15°, 35°, 55°, 75° und 90° (letztere möglich wegen des zusätzlichen Anstellwinkels des Sandkastens).

Bei der ersten Messung stellte ich das Katapult auf den Winkel von 15° ein. Beim Aufprall auf den Sand erzeugten die 16 ml Wasser einen Krater, den ich dem Wasser nicht zugetraut hätte: Über eine Länge von 13 cm war der Boden aufgerissen und am Ende besaß dieser Krater immerhin eine Breite von 8 cm. Auch hier war, wie bei den flachen Schüssen mit Sand ein kegelförmiger Krater entstanden, dessen spitzes Ende zum Katapult zeigte. Die Tiefe von diesem Krater betrug 2 cm. In diesem Krater war durch das Wasser eine etwa 7 mm tiefe Rille entstanden. Außerdem waren im ganzen Sandkasten Matschklumpen zu finden, die durch die Vermischung des Wassers mit dem Sand entstanden sind.

Beim zweiten Versuch schlug das Wasser mit einem Winkel von 35° auf die Sandoberfläche auf. Der Krater war 9 cm lang und 7 cm lang. Die Tiefe betrug wieder 2 cm. Bei diesem Schuss bildete sich der Krater nicht ganz so kegelförmig, er war etwas mehr abgerundet. Im Inneren des Kraters sah es allerdings ziemlich wüst aus: Die Wände des Kraters waren stark zerklüftet und fielen in unregelmäßigen Abständen ab. Das heißt, im Inneren sah es so aus wie in den Alpen: Berge und Täler. Allerdings war mein Krater im Gegensatz zu den Alpen mit Matsch bedeckt. Hinter dem Krater bildete sich eine Kegel aus Matsch, wobei das spitze Ende dem Krater abgewandt war. Bei diesem Schuss bildete sich ein Kraterrand von etwa einem Millimeter Höhe.

Beim dritten Schuss trafen die 16 ml Wasser unter einem Winkel von 55° auf den Sand ein. Dabei entstand ein extrem unregelmäßiger Krater, der 10 cm lang und 8 cm breit war. Dabei wies er einen leicht kegelförmigen Umriss auf, bei dem die spitze Seite dem Katapult abgewandt war. Die Tiefe des Kraters 3 cm. Das Wasser bzw. der Matsch landete in einem Kegel hinter dem Krater oder flog gegen die Wand des Kastens. Geringe Mengen des Wassers flogen auch aus dem Kasten heraus. Der Boden des Kraters war wie auch schon bei dem Schuss

zuvor sehr unregelmäßig geformt. Die Tiefe auf dem Boden des Kraters schwankte zwischen 2,5 und 3

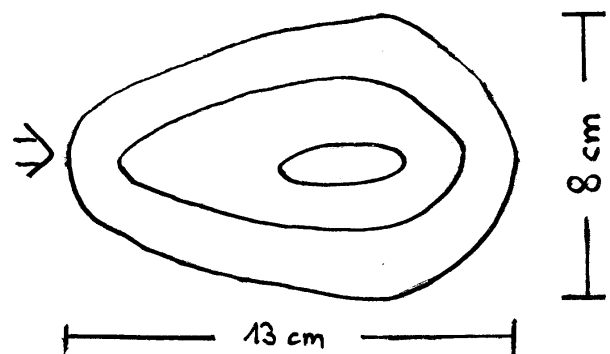


Abb.10: Der Schuss mit Wasser bei 15°
ähnelte dem Schuss mit Sand

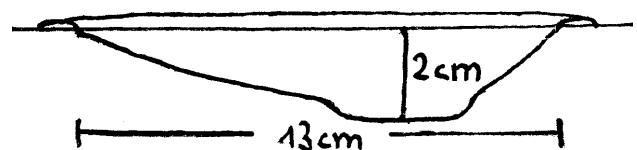


Abb.11: Der Querschnitt des selben Kraters

cm. Am hinteren Ende des Kraters bildete sich eine fast senkrechte und etwa 1 cm hohe Wand heraus, die dann aber nach hinten zu wieder flacher wurde. Der Kraterrand betrug zwischen 1 und 2 mm.

Beim vierten Schuss mit dem Winkel 75° konnte ich nur noch 7,5 ml in die Fotodose füllen. Beim Aufprall erzeugte das Wasser einen fast kreisrunden Krater mit der Länge von 9 cm und einer Breite von 8 cm. Die Tiefe schwankte zwischen 3 und 3,5 cm, denn auch bei diesem Schuss war der Kraterboden unregelmäßig geformt und regelrecht zerklüftet. Die gesamte Krateroberfläche ist mit Matsch überzogen. Sehr interessant ist der Kraterrand, der etwa 3 mm beträgt: Er ist etwa 2 cm breit und fällt nach außen hin steil ab, wie ein Regentropfen auf einem Blatt. Es fliegt kaum Wasser wieder aus dem Krater heraus, so dass das meiste sich auf dem Boden des Kraters in Matsch verwandelt. Beim fünften und letzten Schuss betrug der Einschlagwinkel 90° . Der Krater war nicht mehr ganz so unregelmäßig, aber immer noch 9 cm lang und 7 cm breit. Die Tiefe betrug an der tiefsten Stelle 3,5 cm, sonst lag die Tiefe des fast ebenen Kraterbodens auf 3 cm. Der Kraterrand ähnelte dem des letzten Schusses, er fiel genauso steil ab nach außen hin und war auch etwa 3 mm hoch. Unter dem Kraterboden fand ich beim "Sezieren" des Kraters noch etwa 1,5 cm Matsch, die verdeckt waren, so dass die Tiefe mit dem Matsch unter der Oberfläche etwa 5 cm betrug.

4. Auswertung der Versuchsergebnisse

4.1 Auffälligkeiten der Krater

Zunächst einmal sehr auffallend sind die Ähnlichkeiten in der Form, die alle Krater besitzen. Sie sind nämlich alle eiförmig. Bei den losen Materialien ist der Krater allerdings genau umgekehrt, dort ragt das Spitze Ende in Richtung Kasten. Ich versuchte mir diese Phänomen so zu erklären: Beim Einschlag eines Steines oder anderen festen Gegenstandes entsteht der Krater durch die Druckwelle, die das Objekt im Sand auslöst. Dabei ist es verständlich, dass er beim ersten Aufprall am meisten Energie verliert. Daraus ergibt sich aber auch, dass der Krater anfangs am tiefsten und breitesten sein muss, da dort die meisten Energien freigesetzt werden. Wenn man jetzt statt einem festen Objekt ein Material nimmt, das aus einer lose Masse besteht, so bildet sich direkt nach dem Abschuss ein kleiner Ball, im Falle von Wasser also ein Wasserball. Dieser tritt anfangs noch nicht ganz in die Erde ein, sondern nur teilweise mit seinem unteren Rand. Je tiefer er eintritt, um so größer wird auch die Breite des Kraters, da der Teil, mit dem die Kugel in das Erdreich eintritt immer größer wird. Auf diese Weise ist die hierbei umgekehrte Eiform zu erklären. Nun fällt bei diesen Kratern aber auch auf, dass das Tiefenprofil bei flachen Einschusswinkeln eine ganz bestimmte Form aufweist: an der einen Seite sind sie flach, an der anderen eher steil. Auch hier ist es wieder so, dass loses Material sich genau anders herum verhält, als das feste Material. Beim Einschlag eines Steines bildet sich zunächst eine steile Kante, dahinter steigt der Boden vom tiefsten Punkt wieder leicht an. Nimmt man statt des festen Materials das lose Material, bildet sich beim Krater zunächst der flache Hang, der danach in einen steilen Anstieg übergeht. Dieses Phänomen kann man eigentlich genauso erklären, wie zuvor die umgekehrte Kegelform, da diese beiden eng miteinander zusammen hängen. Die

tiefste Stelle in einem Krater ist immer da, wo die größte Kraft ausgeübt wird. Beim Stein ist das dort, wo er das erste Mal aufkommt, bei Wasser oder Sand jedoch ist dieser Punkt dort, wo der Wasser- oder Sandball vollständig auf die Erde auftrifft. Das heißt, dass ungefähr an der Stelle wo der Krater am breitesten ist, die tiefste Stelle liegen muss. Denn auch die Breite hängt ja von der Wucht des Aufpralls und der Größe des auftreffenden Körpers ab.

Besondere Aufmerksamkeit schenkte ich auch der anschließenden Verteilung des ausgeworfenen Sandes in dem Kasten. Bei den Schüssen mit den Steinen konnte ich noch nicht besonders viel dazu entdecken, da ich den ausgeworfenen Sand nicht vom übrigen Sand unterscheiden konnte. Als ich allerdings mit Wasser schoss, bemerkte ich vor dem Krater, also zum Katapult hin, kleine Mengen Wasser. Ich entnahm daraus, dass das Material nicht nur nach vorne und zu den Seiten geschleudert wird, sondern auch nach hinten,



Abb.12: Sandverteilung bei einem Schuss mit Wasser bei 15°

wenn auch nur in sehr geringen Mengen. Bei den Schüssen mit Wasser und Sand unter dem Winkel 15° trat außerdem noch ein sehr merkwürdiges Phänomen auf: Ein großer Teil des Materials ordnet sich kegelförmig wie in *Abb.12* gezeigt hinter dem Krater an. Um eine Erklärung hierfür zu finden, musste ich eine ganze Weile nachdenken. Schließlich

lich kam ich auf die Idee, dass dieses Phänomen auf die gleiche Weise zu erklären ist, wie auch schon zuvor, oder zumindest als eine Folgerung dessen. Der Wasserball hat sich beim Eintreten in die Erde immer weiter hineingeschnitten. Dabei wurden auch mehr oder weniger geringe Mengen des Wasser vom Ball gelöst und spritzten nach vorne ab. Dabei wurden sie wohl noch etwas von dem Ball gebremst, so dass ein ähnlicher Effekt zustande kam, wie bei einem richtigen Meteoriteneinschlag auf die Erde, wenn sich der Meteorit in der Atmosphäre aus der Luft ein eigenes Polster aufbaut. Dieses bremst in teilweise, verändert aber auch die Flugbahn. Die Flugbahn dieser Wasserspritzer wird nun geringfügig verändert und bremst den Wasserball zunehmend ab. Diese Spritzer landen fast geradlinig hinter dem Krater. Nach und nach wird der gesamte Ball aufgelöst und spritzt von dem Punkt, wo er die Erde berührt geradlinig nach vorne ab. Da der Krater eiförmig ist, muss etwa an jeder Stelle auf der Oberfläche des Kraters ein Wasserspritzer abgesprungen sein, so dass sich auch hinter dem Krater ein Kegel ergibt, der ein etwas gedehntes Spiegelbild des Kraters darstellt.

Weitere Auffälligkeit: Bei fast allen Versuchen finde ich in der Nähe der Krater kleine Kalkstückchen, die mit dem Sand vermischt sind. Zunächst glaubte ich, dass sie wie folgt nach oben gekommen sind: Durch die starke Erschütterung des Erdbodens fallen kleine Teilchen nach unten, größer kommen nach oben. Allerdings wies diese Theorie einen Knackpunkt auf: Warum nur in der Nähe des Kraters und warum nicht direkt im Krater? Warum nur in der Nähe des Kraters ließe sich vielleicht noch damit erklären, dass man eine bestimmte Energie dazu benötigt und diese eben nur in der Nähe des Kraters auftritt und in weiterer Entfernung dazu zu schwach wird. Aber warum dann nicht direkt im Krater, wo doch dort die Kraft am größten ist? Ich erklärte es mir dann damit, dass durch die Wucht des Aufpralls das Volumen des Kraters

in die Gegend verteilt wurde. In diesem Raum, wo sich der Krater bildete, befanden sich natürlich auch Steine, die ebenfalls durch die Luft geschleudert wurden. Da sie aber schwerer sind als der Sand, kommen sie früher wieder auf den Boden zurück. Es kam allerdings auch vor, dass ich außerhalb des Kastens Kalkstückchen fand, was mich in meiner Theorie bestärkte und die vorherige Variante mit den großen und kleinen Teilchen sehr unwahrscheinlich erschienen ließ. Wie viele Teilchen in dem Kasten verteilt werden, kommt demnach auf das Volumen des Kraters an oder auf die Anzahl der Steine, die in diesem Gebiet liegen. Die Abhängigkeit mit der Größe des Kraters konnte ich sehr einfach durch Durchlesen der Versuchsprotokolle erkennen. Dass die Weite, in der die Stückchen landen, von der Wucht des Aufpralls herrührt, leuchtet ein, denn die Energie, die die Steinchen antreibt, wird durch die Aufprallsenergie geregelt.

Beim Betrachten der Zeichnungen der Krater fielen mir ein paar weitere Unterschiede auf: Die Form und Größe des Kraterrandes differierte je nach Material und Winkel. Dabei erstaunte mich besonders die Form des Kraters, der bei einem Schuss mit Wasser entsteht. Der Kraterrand ist etwa 2 cm breit und fällt nach außen hin ab. Wahrscheinlich würde bei jedem Schuss ein solcher Rand entstehen, nur gleicht sich ein Kraterrand, der nicht durch den Einschlag von Wasser entstand, wieder dem Boden an. Wenn der Sand allerdings feucht ist, so behält er eher seine Form bei. Nicht erstaunlich war allerdings, dass der Krater am größten war, wenn die größte Masse mit einem großen Winkel auftraf, da so der größte Krater entsteht, der meiste Sand aufgewirbelt wird und sich ein Teil von diesem Sand als Kraterrand absetzt.

Das Abspringen des Steines bei flachen Schüssen ist auch noch recht einfach zu erklären: Es ist eigentlich der gleiche Effekt wie beim Flippen auf Seen. Das Objekt hat eine so hohe Geschwindigkeit und kommt unter einem so flachen Winkel auf, dass es wieder abspringt. Beim Licht ist es so ähnlich: Unter einem bestimmten Winkel wird das Licht nicht mehr gebrochen sondern nur noch reflektiert. So ähnlich muss es auch hier gewesen sein.

4.2 Vergleich mit reellen Kratern

Nun interessierte mich natürlich auch, wie realistisch die Krater geformt waren. Deshalb verglich ich die Krater, die bei meinen Versuchen entstanden mit denen, die z.B. auf dem Mond zu finden sind. Dafür musste ich mir zunächst aber etwas Theorie aneignen über die Entstehungsgeschichte der Krater. Ich fand schließlich in einem Buch [1] eine sehr genaue Information: Die Krater auf dem Mond sind in mehreren Etappen entstanden, um genau zu sein, in vier: Der Krustenbildung vor 4,6 Mrd. Jahren, in einer Zeit der großen und häufigen Meteoriteneinschläge vor etwa 4 Mrd. Jahren, der Ausfüllung der Maria mit Basalt (3,7 - 3,2 Mrd. Jahre) und spätere Meteoriteneinschläge (3 Mrd. Jahre und später). Bei der ersten Phase, der Kristallisation, bildeten sich aus der heißen, zähen Masse, aus der der Mond mal bestanden haben muss, hartes, kristallines Gestein. Hierbei entstanden noch keine Krater, allerdings rühren die meisten Gebirge auf dem Mond aus dieser Zeit her. In der zweiten Phase entstanden durch Meteore unterschiedlichster Größe viele Krater auf der Mondoberfläche, deren Durchmesser um ein Vielfaches größer sind als der des Meteors. Dass die Krater nicht vulkanischen Ursprungs sind, kann man an deren äußeren Form erkennen. Sie unterscheiden sich gänzlich von denen auf der Erde. Außerdem ist es gar nicht denkbar, dass der Mond je eine so hohe vulkanische Aktivität wie die Erde besessen hat, wie sie durch unzählig

viele Krater angezeigt würde, doch gerade die kleinen und kleinsten Krater können unmöglich durch vulkanische Aktivitäten entstanden sein. Diese Zeit, in der es regelrecht Meteore und Meteoriten hagelte, dauerte nur verhältnismäßig kurz. Es ist immer noch nicht geklärt, ob die Gesteinsbrocken aus dem Sonnensystem selbst stammen oder aus einer Wolke interstellaren Materie. Nur auf dem Mond und auf dem Planeten Mars und seinen beiden Monden sind Krater zu finden, die schon aus dieser Zeit stammen können, auf der Erde selbst sind die Krater aus dieser Zeit längst durch Erosion wieder eingeebnet, hier sind nur Krater aus der jüngeren Erdgeschichte zu finden (Cañon Diablo in Arizona, Nördlinger Ries). Sehr interessant ist, dass der einschlagende Meteor eine Stoßwelle in dem Mondboden auslöst und so eine große Verdichtung des Materials bewirkt. Dabei ist ganz wichtig, dass der Meteor selbst fast vollständig verdampft. Durch die sehr geringe Fallbeschleunigung und das Fehlen eines Luftwiderstandes fliegen die durch die Druckwelle beiseite gefegten Brocken über sehr weite Entfernungen. Die ganz großen Krater haben Mulden für die späteren Maria erzeugt, wo auch ihre kreisrunde Form herkommt. In der folgenden Epoche füllten sich diese Maria mit Basalt. In der dann folgenden Epoche bildeten sich viele neue Krater auch in den Marias. Auch in ihnen findet man noch große Krater wie zum Beispiel Clavius mit 300 km oder Kopernikus mit 100 km Durchmesser. Diese Skala von Größenordnungen geht lückenlos von diesen großen Kratern zu den ganz kleinen Mikrokratern über, die teilweise nur eine Größe von 0,001 mm haben.

Nun wollte ich die Krater auf dem Mond mit meinen vergleichen, um dort Ähnlichkeiten oder auch Unterschiede zu erkennen. Dazu scannte ich mir zunächst ein Bild der Süd-West-Region des Mondes ein (Abb.13), wo neben dem Mare Nubium sehr viele Krater zu finden sind, wie Ptolemäus, Arzachel, Albatagenius, Clavius, Tycho und der Langen Wand. Leider ist die Qualität des eingescannten Bildes nicht so gut wie das Original, aber ich hatte leider keine andere Möglichkeit ein Bild des Mondes in die Arbeit zu kopieren.

Nun komme ich zu dem eigentlich interessanten Teil der Arbeit, ich vergleiche die Krater auf dem Mond, mit meinen Kratern.

Dabei fällt zunächst eine Sache auf: Auf dem Mond sind fast aller Krater kreisrund, während bei mir mehrere Krater aufgrund eines flachen Einschusswinkels sehr länglich gestreckt sind. Ich kann also annehmen, dass die Krater auf dem Mond durch fast senkrechte Einschläge entstanden sind. Es sei

denn, es gibt noch andere Faktoren, die für die Form des Kraters eine wichtige Rolle spielen.

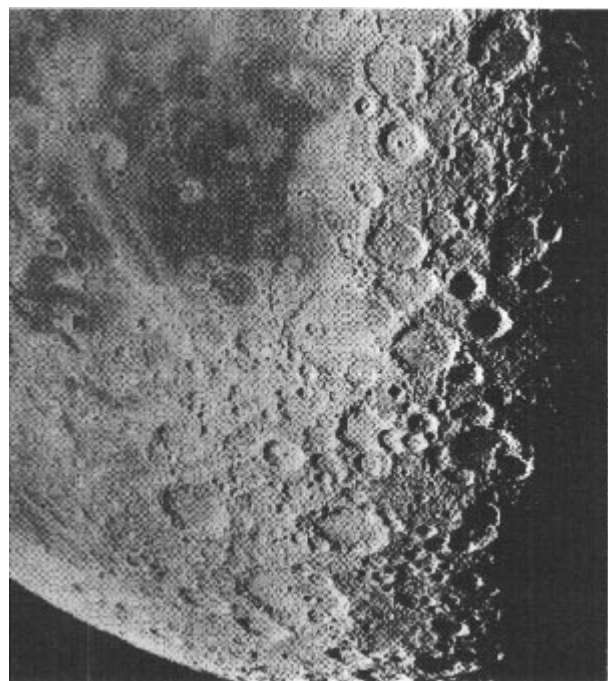


Abb.13: Süd-West-Region des Mondes (Aufnahme mit 2,5m - Spiegel, Mount Wilson, Kalifornien)

Die Größenverhältnisse der Krater treffen auch bei mir in etwa zu, dazu jetzt ein Beispiel von der Erde: Der Arizona-Krater hat einen Durchmesser von 1295 m und eine Tiefe von 175 m. Bei einem Maßstab von etwa 1 : 10000 erhält man also die Größenverhältnisse, die auch bei meinen Versuchen zutreffen.

Ein sehr großer Unterschied zwischen meinen Kratern und vielen reellen Kratern besteht darin, dass ich bei meinen Versuchen keinen Zentralberg erzeugen konnte, doch das erscheint einleuchtend, wenn man weiß, dass dieser Berg durch die plastische Verformung des Erdbodens entsteht, hervorgerufen von der ungeheuren Wucht des Aufpralls. Dass diese Kräfte bei meinem Versuch nicht auftreten, ist klar. Auf dem Bild befindet oben rechts in der Ecke, leider nur schwach erkennbar, der Krater Hipparch, der in der Mitte einen Zentralberg aufweist.

Ein zweiter Unterschied ist, dass wirkliche Meteore beim Aufschlag größtenteils verdampfen, bei mir kann das natürlich nicht passieren, da auch dazu die Kräfte viel zu klein sind. Die Kraterände, die auf dem Mond von der Oberfläche des Kraters bis zur Kraterandspitze bis zu 6000 m erreichen können, entsprechen im oben angegebenen Größenverhältnis dagegen wieder meinen Ergebnissen.



Abb.14: Glaskügelchen aus dem Mondstaub mit einem Mikrometeoritenkrater (elektronenmikroskopische Aufnahme)

In einem Buch [1], in dem auch das Bild des Mondes abgebildet war, fand ich ein anderes, hoch interessantes Bild, das mich auf weitere Gedanken zum Thema Krater brachte. Ich scannte es ebenfalls ein (Abb.14), doch hatte ich auch hier wieder einen großen Qualitätsverlust. Aber ich glaube, das Wichtigste kann man darauf noch erkennen: Mitten auf diesem winzigen Glaskügelchen (0,017 mm) hat sich durch einen Mikrometeoriten ein winziger Krater gebildet. Aber auch dieser Krater weist genauso wie sein "großer Bruder" (Krater auf dem Mond) eine runde Form auf, und auch hier entsteht ein Kraterand, der im gleichen Verhältnis zu Länge und Breite steht, wie der Kraterand eines Kraters mit 2 km Durchmesser. Ebenfalls bildet sich ein Zentralberg, wegen der großen Kraft, die nur auf einem kleinen Fleck ausgeübt wird. Und ich denke, das ist auch etwa das Ergebnis, dass ich aus meiner Arbeit erhalten kann: Egal welche Größe der Meteor oder Meteorit hat, es entstehen immer ähnliche Krater. Und daraus kann ich schließen, dass mein Aufbau zum größten Teil die Einschläge realistisch simuliert.

5. Danksagung

Ich danke meinem Vater und gleichzeitig auch AG-Leiter, der mir bei meinem Aufbau mit technischem Rat zur Seite gestanden hat und immer neue Einfälle hatte, mit denen ich meinen Aufbau stabilisieren oder ihn auch für mich und die Umgebung sicherer gestalten konnte.

Außerdem danke ich meiner Mutter, die mir mit moralischer Unterstützung zur Seite stand und mich mit genügend Sand versorgte, so dass ich das Thema dreimal hätte durchführen können.

Herzlichen Dank auch unserem Jugend-forscht Förderkreis, der wie auch schon in den vergangenen Jahren durch seine finanziellen Mittel die Durchführung unserer Arbeiten ermöglicht hat.

6. Literaturliste

[1] *Friedrich Gondolatscher/ Siegfried Steinacker/ Otto Zimmermann.: "Naturwissenschaftliche Reihe - Astronomie - Grundkurs"*

Ernst Klett Schulbuchverlag, Stuttgart 1990, S. 87 ff, S. 58 ff