

## Die Mondphasen – sollte man den eigenen Augen trauen oder doch lieber dem Lehrbuch?

Gerhard Herms

Die Entstehung der Mondphasen ist schnell erklärt und leicht zu verstehen, wenn das Ganze durch einen Modellversuch demonstriert wird. Mit diesem Wissen ausgerüstet, kommt der Mensch problemlos durch die Jahre, bis er eines Tages durch Zufall oder besondere Umstände sich das Himmelspaar Sonne und Mond etwas genauer ansieht und er mit Schrecken feststellt, dass da etwas nicht stimmen kann. Er überlegt, bringt seine Verwunderung anderen gegenüber zum Ausdruck, doch weder er noch die anderen finden eine Lösung. Fast immer lässt er es dabei bewenden; denn kaum jemand hat wie der Schüler Daniel einen Studenten zum Freund, der ihm auf die Sprünge helfen kann.

Übersicht der Bezüge im WiS!-Beitrag		
Physik	Strahlenoptik	Geradlinige Lichtausbreitung, Körperschatten
Astronomie	Kleinkörper	Mondphasen
Fächer- verknüpfung	Astro-Ma, Astro-Kunst	Trigonometrie, Perspektive



Es ist ein schöner Anblick, wenn Sonne und Mond gleichzeitig am Himmel stehen. Die meisten Menschen freuen sich darüber und gehen zur Tagesordnung über. Manche jedoch erinnern sich daran, was sie in der Schule über die Mondphasen gelernt haben und schauen – wenn es ihre Zeit zulässt – genauer hin und erleben in der Regel eine Überraschung: Da stimmt doch irgendetwas nicht! Der Mond sieht so aus, als würde er sein Licht nicht von der Sonne, sondern von einer anderen Lichtquelle empfangen.

Fotografien, auf denen Sonne und Mond gleichzeitig zu sehen sind, sind relativ selten und oftmals nur Fotomontagen (hier aber nicht).

Statue der Madonna di Accoglienza in Malcesine am Gardasee unter dem aufsteigenden Mond im 2. Viertel. Die Blickrichtung ist annähernd Ost. Die Statue wird von der Sonne beleuchtet.

©: lo.tangelini from Soliera / Modena, Italia - Isis en la Tierra, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=21217106>.

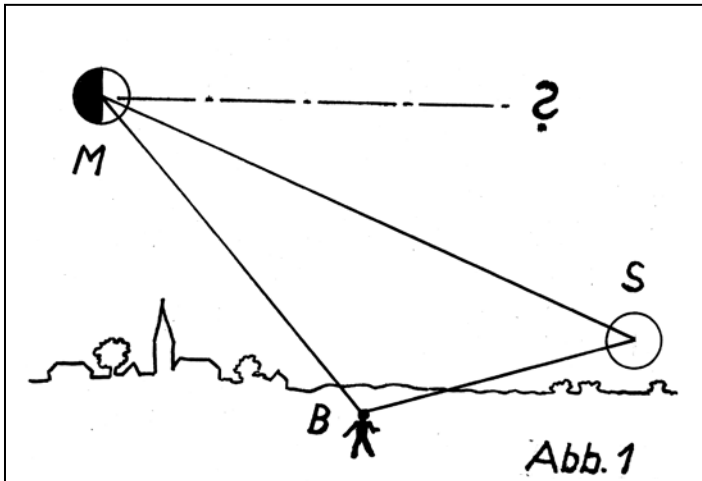
**Daniel:** Jan, hättest du mal wieder Zeit für mich?

**Jan:** Klar! Womit quält euch eurer Lehrer diesmal?

**Daniel:** Diesmal quält niemand. Ich quäle mich höchstens selbst, weil ich etwas nicht verstehe, was doch so einfach zu sein schien.

**Jan:** Worum geht's denn?

**Daniel:** Vor ein paar Tagen sah ich am späten Nachmittag den Mond und gleichzeitig die Sonne. Es war Halbmond und die Sonne stand schon ziemlich tief. Es sah ungefähr so aus wie auf dieser Zeichnung, die ich nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt habe (*Abb. 1*)

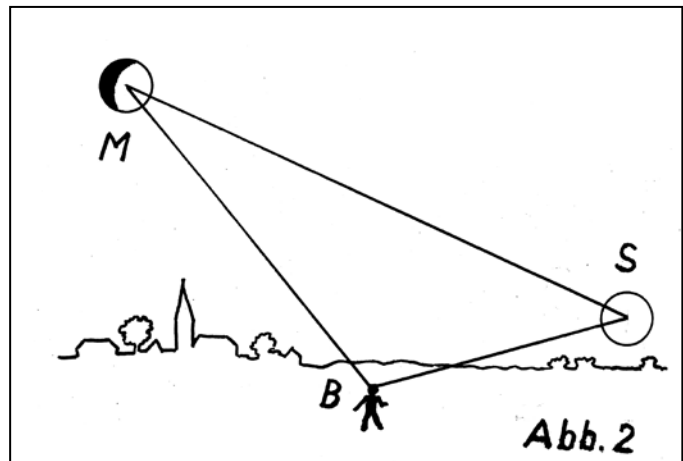


**Jan:** Und womit hast du nun Probleme?

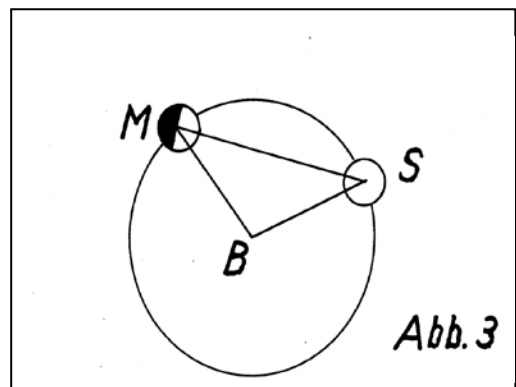
**Daniel:** Sieh dir doch mal die Winkellage des Halbmondes an! Die beleuchtete Hälfte des Mondes liegt so, als würde sie von einer Lichtquelle beleuchtet werden, die in der Zeichnung rechts oben sein müsste (etwa da, wo ich das Fragezeichen angebracht habe). Da ist aber nichts! Die Sonne ist in der Zeichnung rechts unten.

**Jan:** Hm!

**Daniel:** Das von der Sonne ausgehende Licht müsste die Kugel des Mondes so beleuchten, wie ich das in der zweiten Zeichnung dargestellt habe (*Abb. 2*). Von meinem Standpunkt bei B aus müsste die Schattengrenze gebogen sein und ich viel mehr als die Hälfte des Mondes sehen. Außerdem müsste die Symmetrieachse des beleuchteten Teils genau zur Sonne zeigen. Das war aber nicht so. Es war wirklich so wie in der ersten Zeichnung. Ich verstehe das einfach nicht und habe sogar schon angenommen, dass mir in der Schule etwas Falsches erzählt worden ist.



**Jan:** Eher glaube ich, dass du irgendeinen Denkfehler machst. Lass uns mal Schritt für Schritt vorgehen! Beginnen wir mit der alten naiven Vorstellung, dass sich Sonne und Mond an der Himmelskugel bewegen, beide also gleichweit von uns entfernt sind! Der Kreis den ich jetzt zeichne, soll die Himmelskugel darstellen, M den Mond und S die Sonne (*Abb. 3*). Im Mittelpunkt ist der Beobachter B. Im kleinen Kreis, der den Mond wiedergibt, markiere ich jetzt den Durchmesser, der zur Verbindungsgeraden MS senkrecht steht.



**Daniel:** Und damit haben wir die Lage der beleuchteten Mondfläche! Es ist so, wie ich sagte: Von B aus müsste man mehr als die Hälfte des Mondes sehen.

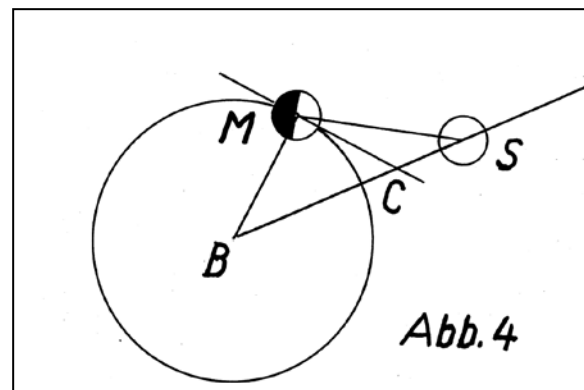
**Jan:** ...und zwar immer, unabhängig davon, an welcher Stelle des Kreises der Mond steht.

**Daniel:** Halbmond gäbe es nur, wenn Sonne und Mond dicht beieinander stünden, schmale Mondsicheln oder Neumond überhaupt nicht. Es ist ein blödsinniges Modell.

**Jan:** Zugegeben!

**Daniel:** Schmale Mondsicheln können nur entstehen, wenn wir die Sonne auf der Geraden BS nach außen verschieben und der Mond auf dem Kreis um B näher an die Gerade BS heranrückt.

**Jan:** Ich bin dabei, eine neue Zeichnung zu machen, die beides berücksichtigt. - Wie du siehst, ist die Sonne jetzt weiter entfernt von B als der Mond (*Abb. 4*). Steht dieser nahe genug an der Geraden BS, so sieht der Beobachter von B aus einen sichelförmigen Mond.



**Daniel:** Würde der Mond direkt auf der Geraden BS stehen, wäre Neumond. Aber ich hätte lieber die Situation wie bei meiner Beobachtung, nämlich Halbmond.

**Jan:** Dazu bräuchten wir den Mond auf dem Kreis nur etwas nach links verschieben. Ich zeichne mal im Mittelpunkt des Mondes eine Tangente an den Kreis ein. Sie schneidet die Gerade BS im Punkt C, Wenn wir M auf dem Kreis nach links bewegen, wandert C in Richtung Sonne. Die von dir gewünschte Situation liegt vor, wenn C mit dem Mittelpunkt der Sonne zusammenfällt.

**Daniel:** Qualitativ liegen wir mit unserem Modell jetzt richtig, quantitativ aber noch nicht. Der Winkel MSB ist in unserer Zeichnung etwas über  $30^\circ$ . Bei meiner Beobachtung hatte ich geschätzt, dass die Verbindungsgerade Mond-Sonne etwa um  $15^\circ$  bis  $20^\circ$  gegen meine Blickrichtung zur Sonne (also gegen BS) geneigt war. Eine Verkleinerung des Winkels lässt die Sonne weiter vom Beobachter in B abrücken, was ich für sehr vernünftig halte.

**Jan:** Hoppla! Ich beginne zu ahnen, wo der Hund begraben liegt! Nimm mal meinen Taschenrechner und rechne doch mal die Entfernung der Sonne aus!

**Daniel:** Nicht ganz so einfach.

**Jan:** Unsinn! Einfacher geht's nicht! Wir haben ein rechtwinkliges Dreieck BMS. Der Mond ist 384 000 km entfernt.

**Daniel:** Ach ja! Ich rechne mal mit  $20^\circ$ . Dann ergibt sich BS aus  $384\,000\text{ km} / \tan 20^\circ$ . Das ergibt abgerundet 1,1 Millionen km.

**Jan:** Und was hattet ihr in der Schule gelernt?

**Daniel:** Au, verdammt! Die Sonnenentfernung ist ja 150 Millionen km. Sollte ich mich so verschätzt haben? Vielleicht war der Winkel nur  $10^\circ$ .

**Jan:** Das bringt auch nicht viel, etwa eine Verdoppelung. Wir brauchen aber das 150-fache.

**Daniel:** Wie klein müsste der Winkel denn sein, damit die Sonnenentfernung richtig herauskommt?

**Jan:** Gib mir bitte den Rechner! – So, das wäre es. Er müsste  $0,15^\circ$  betragen.

**Daniel:** Unmöglich! Ich habe einen viel größeren Winkel gesehen. Da bin ich mir sicher. Aber verstehen kann ich das alles nicht.

**Jan:** Wir sollten damit aufhören, das Pferd am Schwanz aufzuzäumen. Fakt ist, dass zwischen dem Sonnenstrahl, der dir bei deiner Beobachtung ins Auge fiel und einem Sonnenstrahl, der auf den Mond fiel, ein Winkel von  $0,15^\circ$  besteht. Das hatte ich eben ausgerechnet. Wir können getrost sagen, dass beide Strahlen parallel sind. Wenn du nun einen Winkel von  $15^\circ$  bis  $20^\circ$  gesehen hast, ist das eine Sache der Perspektive. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Perspektive>; <http://zeichnen.gemutlichkeit.de/html/Zeichnen>)

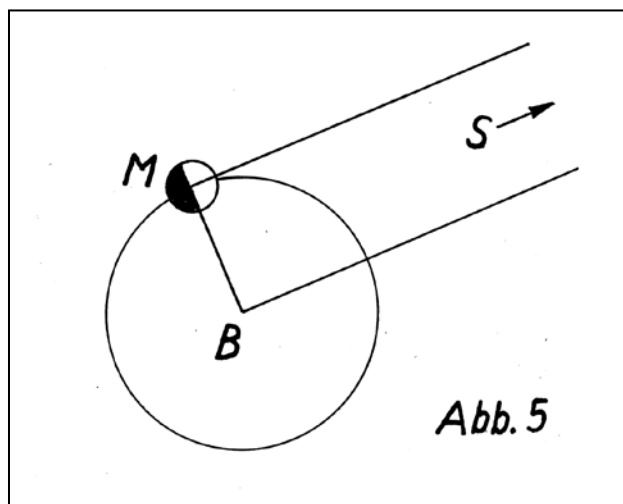
**Daniel:** Dieser Winkel ist doch eine Realität. Jeder hätte das so gesehen.

**Jan:** Daran zweifle ich nicht. Ein Storch, der auf einer Eisenbahnschiene steht und tiefsinnig die geradlinig in die Ferne führende Strecke entlang blickt, bemerkt auch, dass die zweite Schiene einen Winkel mit der Schiene zu bilden scheint, auf der er steht. Dagegen ist nichts einzuwenden. Der Storch würde aber einen fatalen Fehler begehen, wenn er mit dem Tangens dieses Winkels und dem Abstand beider Schienen den Punkt berechnen würde, an dem beide Schienen zusammenlaufen. Und genau das haben wir vorhin getan!

**Daniel:** Mensch, du hast Recht! Dein Beispiel mit den Eisenbahnschienen fetzt! Dadurch ist mir schlagartig klargeworden, was ich falsch gemacht hatte. Ich hatte einen Winkel, so wie ihn mein Auge sah, gleichgesetzt mit dem Winkel, der in der Realität vorliegt.

**Jan:** Du musst dir immer klarmachen, dass die bei uns auf der Erde ankommenden Sonnenstrahlen parallel sind. Wenn man manchmal dennoch divergierende Sonnenstrahlen sieht, dann ist das eine Sache der Perspektive. Das ist z. B. der Fall, wenn die Sonne durch eine lückenhafte Wolkendecke scheint. Dass die Strahlen dem Auge nicht parallel erscheinen, hat denselben Grund wie bei den Eisenbahnschienen. Der naive Mensch jedoch schließt daraus, dass die Sonne nur wenig weiter entfernt ist als die Wolken.

**Daniel:** Im Grunde genommen hatte ich einen ganz ähnlichen Gedankenfehler gemacht.



**Jan:** So ist es. Dass die Sonnenstrahlen parallel sind, gilt in guter Näherung auch noch für den ganzen Bereich Erde-Mond. (Wir sehen mit anderen Worten ab von den oben berechneten  $0,15^\circ$ ). Um die Situation angemessen wiederzugeben, sollten wir unsere letzte Zeichnung (Abb. 4) schleunigst vergessen und für den Fall des Halbmondes immer folgende Konstellation vor Augen haben (siehe Abb. 5). - Nun eine Frage an dich: Wie verändert sich die Ausleuchtung der Mondoberfläche, wenn der Mond auf der Geraden MB parallel zu sich (ohne Drehung) verschoben wird?

**Daniel:** Überhaupt nicht. Es liegen immer dieselben Punkte der Mondoberfläche im Sonnenlicht.

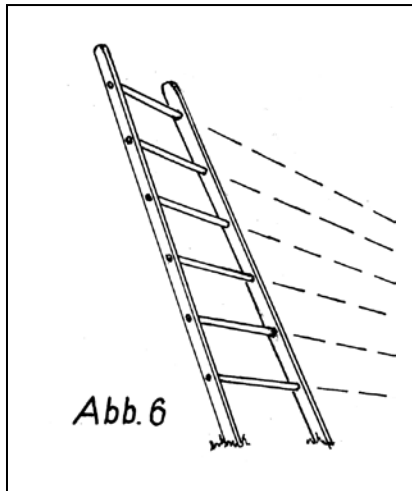


Abb. 6

**Jan:** Gut! Wie sieht es mit dem Anblick von der Erde aus?

**Daniel:** Es ist immer derselbe, abgesehen davon, dass sich die scheinbare Größe ändert.

**Jan:** Also keine Rede davon, dass die Schattengrenze gebogen sein müsste und die Symmetrieachse des beleuchteten Teils zur Sonne hinzeigen müsste.

**Daniel:** Aber wie ist es mit dem Fragezeichen in Abb.1? Ich wollte damit zum Ausdruck bringen, dass die Lichtquelle in dieser Richtung liegen müsste.

**Jan:** Ganz einfach! Du hattest die Perspektive nicht berücksichtigt. Hier ist das Bild einer schräg an einer Mauer lehnenen Leiter (Abb. 6). Ihre Sprossen liegen alle

waagrecht. Die geradlinigen Verlängerungen der Sprossen (in Abb. 6 gestrichelt) schneiden sich alle in einem Punkt des Horizonts (dem sog. Fluchtpunkt). Identifiziere bitte einen der Holme mit der Strecke Beobachter-Mond und die Sprossen mit den Sonnenstrahlen, dann hast du die Lösung deines Problems.

**Daniel:** Noch habe ich's nicht geschnallt.

**Jan:** Pass auf! Ein auf den Mond fallender Sonnenstrahl ist praktisch parallel zu dem Sonnenstrahl, der dir ins Auge fällt. Wenn du ersteren sehen könntest (z. B. durch Streuung an Staub), dann hättest du einen ähnlichen Eindruck wie der Storch auf der Schiene.

**Daniel:** Verstehe! Wie dein mathematisch gebildeter Storch hätte ich den Eindruck, dass beide Strahlen in einem Punkt zusammenlaufen.

**Jan:** ... und der liegt mitten in der Sonne.

**Daniel:** Jetzt hab ich's verstanden. Dass die Sonne in meiner ersten Zeichnung (Abb. 1) für das Auge nicht irgendwo auf der Strich-Punkt-Geraden erscheint, sondern tief darunter, liegt an der schräg verlaufenden Fluchtlinie.

**Jan:** Richtig! Aber noch etwas Anderes: Deine erste Zeichnung (Abb. 1) ist nicht ganz richtig. Die Strich-Punkt-Linie, welche die Symmetrieachse des beleuchteten Gebietes darstellen soll, darf nicht horizontal liegen, sondern muss parallel zur Geraden BS verlaufen.

**Daniel:** Warum ist das alles nur so schwer zu verstehen?

**Jan:** Ich glaube, dass das einfach daran liegt, dass wir im alltäglichen Leben mit Körpern zu tun haben, deren Entfernungen von gleicher Größenordnung sind. Damit haben wir unsere Erfahrungen. Deine Begründungen, warum der Mond so aussehen müsste, wie du es in deiner zweiten Zeichnung (Abb. 2) dargestellt hast, sind ein Musterbeispiel dafür, dass du in Kategorien denkst, die der Erfahrung des Alltags entstammen. Das macht jeder so. Auch Abb. 4 zeugt davon, dass wir – um die Verständlichkeit zu erhöhen – lieber auf die maßstabsgerechte Darstellung verzichten und Mondentfernung und Sonnenentfernung einander annähern. Ein Größenverhältnis von 1 zu fast 400, wie es bei den Entfernungen von Mond und Sonne vorliegt, können wir verstandesmäßig nicht wirklich erfassen.