

Sagittarius A* - Ein Schwarzes Loch im Zentrum unserer Galaxis?

Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie sagt Objekte voraus, die so kompakt und massiv sind, dass ihnen noch nicht einmal Licht entweichen kann. Sie besitzen einen sogenannten Ereignis-Horizont, innerhalb dessen kein Licht oder sonstiges Signal mehr nach außen gelangen kann. Der experimentelle Nachweis dieser sogenannten Schwarze Löcher (engl. black holes) ist aus diesem Grund besonders schwierig.

Seit den 90er Jahren vermuten Astrophysiker, dass es im Zentrum der meisten Galaxien extrem masse-reiche Schwarze Löcher gibt. Im Jahre 1974 wurde im Zentrum unserer Milchstraße ein Objekt gefunden, das im Radiowellenbereich sehr stark strahlt, während es z.B. im Infrarotbereich im Allgemeinen nicht sichtbar ist. Da es sich im Sternbild Schütze (Sagittarius) befindet, trägt es den Namen SgrA* (lies Sagittarius A*). Astrophysiker vermuten, dass es sich dabei um ein Schwarzes Loch handelt. Ihre Argumente sollen in den folgenden Aufgaben nachvollzogen werden:

Aufgabe 1: *Abb.1 stellt Positionsmessungen des Sternes S2 vom VLT dar, der das Objekt SgrA* umkreist. Die Angaben sind in Winkelsekunden gemacht. Rechnen Sie diesen Winkelmaßstab in einen Entfernungsmaßstab wie Lichttage (ld) um. Die Entfernung des galaktischen Zentrums von der Erde wurde zu $(7,62 \pm 0,33)$ kpc bestimmt. Ein Parsec = 1 pc = 3,26 Lichtjahre ist eine in der Astronomie übliche Entfernungsangabe.*

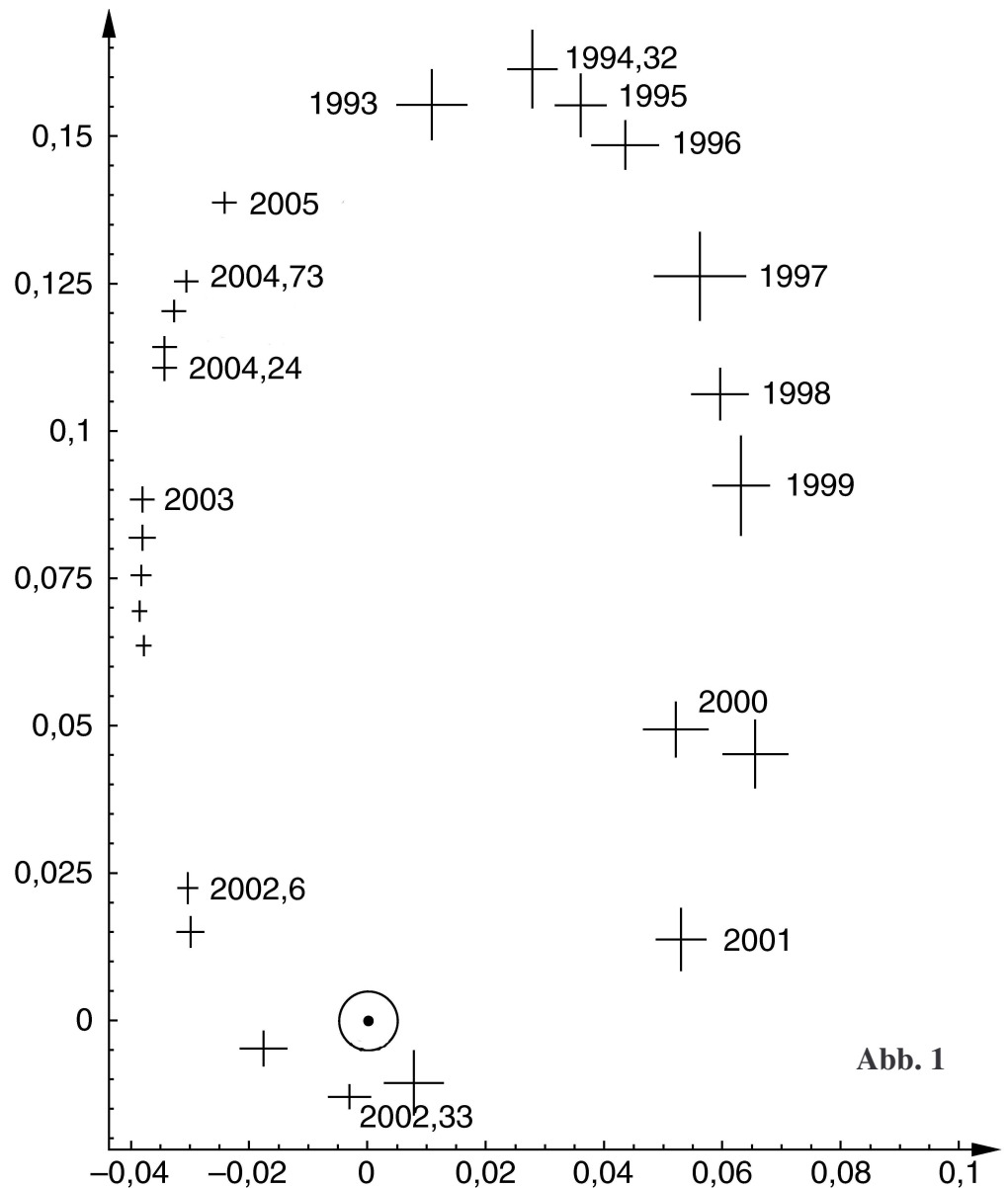


Abb. 1

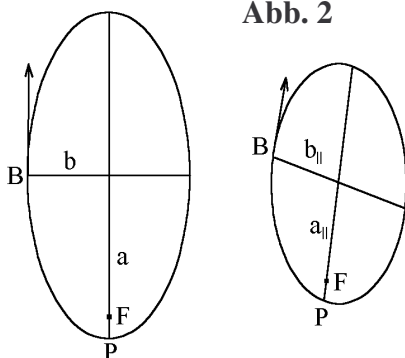


Abb. 2

Aufgabe 2: *Um die Masse von SgrA* zu bestimmen, müssen nun die Bahndaten von S2 ermittelt werden. Der Stern S2 umkreist SrgA* auf einer Ellipse, die im Bezug auf die Himmelsebene etwa wie in Abb. 2 gekippt und verdreht ist. Die für die Keplerschen Gesetze relevante große Halbachse verläuft jedoch auch bei schräger Aufsicht durch den Brennpunkt SgrA* und halbiert die projizierte Ellipse. Zeichnen Sie in Abb. 1 eine Ellipse ein, die die Positionsmessungen möglichst*

gut wiedergibt und ziehen Sie eine Achse durch das Zentrum SgrA*, die die Fläche der Ellipse halbiert. Bestimmen Sie die Länge a_{\parallel} der Projektion der großen Halbachse a auf die Himmelsebene.

Aufgabe 3: Um die tatsächliche Halbachse a der Bahnkurve auszurechnen, muss man den Winkel α berücksichtigen, um den die Halbachse im Bezug zur Himmelsebene geneigt ist (vgl. Abb. 3). Dieser Winkel wurde durch Messung der Dopplerverschiebung von Spektrallinien zu $\alpha = 41,4^{\circ} \pm 1,6^{\circ}$ bestimmt. Berechnen Sie damit die große Halbachse a .

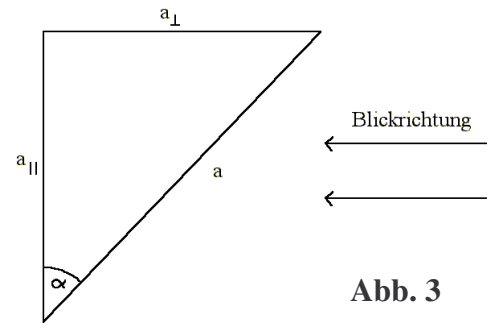


Abb. 3

Aufgabe 4: Bestimmen Sie aus Abb. 1 die Umlaufdauer T von S2.

Aufgabe 5: Berechnen Sie aus den Ergebnissen von Aufgabe 3 und 4 die Masse des Zentralgestirns SgrA*. Wie viele Sonnenmassen enthält es? Beachten Sie, dass nach dem dritten Keplerschen Gesetz die Umlaufdauer nur von der großen Halbachse a abhängt, d.h. sie ist genauso groß wie bei einer kreisförmigen Umlaufbahn mit demselben Radius.

Aufgabe 6: Nach der AR kann selbst Licht, welches innerhalb des sogenannten Schwarzschild-Radius R_S ausgesandt wird, nicht mehr dem Schwarzen Loch entkommen. Berechne den Schwarzschild-Radius von SgrA* nach der Formel $R_S = 2\gamma M/c^2$ und vergleichen Sie mit dem Sonnenradius.

Aufgabe 7: Zur Überprüfung der AR ist es wesentlich, die unmittelbare Umgebung eines Schwarzen Loches und die dort ablaufenden Prozesse zu untersuchen. Nach der AR sind Kreisbahnen um eine Punktmasse nicht wie in der Newtonschen Mechanik bis zu beliebig kleinen Radien stabil. Wenn der Radius kleiner als der dreifache Schwarzschildradius R_S ist, so stürzt die Materie in das Schwarze Loch. Solch ein Prozess, bei dem Gravitationsenergie zum Teil als Strahlung ausgesandt wird, wurde vermutlich am 16. Juni 2003 als ein sogenannter Flare (to flare: engl. aufleuchten) an der Position von SgrA* beobachtet, vgl. Abb. 4a und 4b. Man vermutet, dass bei einem solchen Aufleuchten eine Ansammlung von heißem relativistischem Gas unmittelbar um das schwarze Loch kreist, bevor es hinter dem Ereignishorizont verschwindet. Dies erklärt die periodischen Strukturen im zeitlichen Verlauf des Flares in Abb. 5: Während der relativen Strahlungsmaxima befindet sich das Gas von uns aus gesehen vor dem Schwarzen Loch, während der Minima befindet es sich dahinter, so dass die Strahlung abgeschirmt wird. Nehmen Sie an, dass sich das Gas während des Flares mit Lichtgeschwindigkeit auf einer Kreisbahn um das Schwarze Loch bewegt und schätzen Sie daraus den Abstand der letzten „stabilen“ Kreisbahn ab.

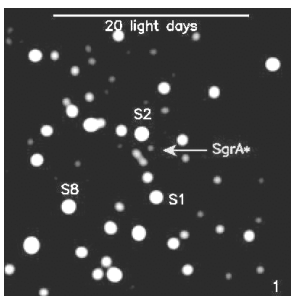


Abb. 4a

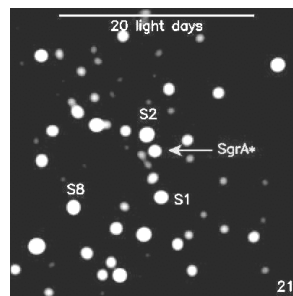


Abb. 4b

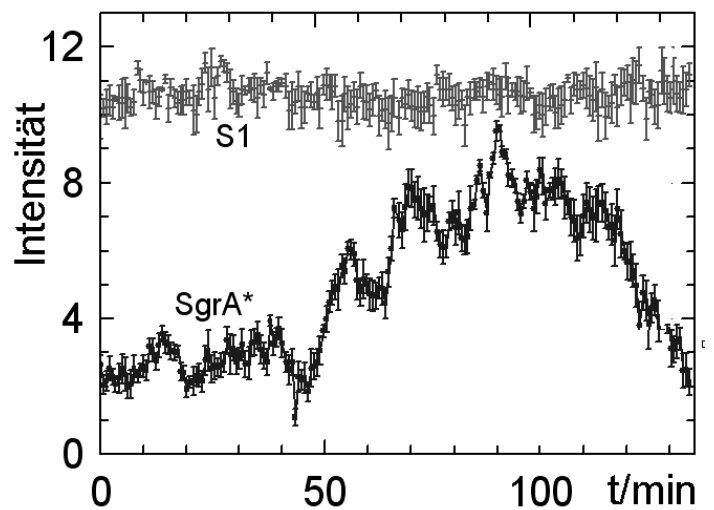


Abb. 5