

Schleuderball

H. Joachim Schlichting . Universität GH Essen

*Warum hat die Natur sich so oft der Schwungskräfte
oder der Trägheit der Materie bedient
Vereinigung zu verhindern?*

G. Chr. Lichtenberg

Einleitung

Obwohl Schüler i.a. Erfahrungen mit geschleuderten bzw. an einer Schnur herumgewirbelten Gegenständen haben, erscheint ihnen meiner Erfahrung nach der Umlauf auf der Kreisbahn als ungewohnte, sich selbst erhaltende, natürliche Bewegung. Hier zeigt sich einmal mehr, daß bestimmte lebensweltliche Sehweisen physikalischen Ideen der aristotelischen Physik ähnlich sind. Im Rahmen der neuzeitlichen Physik wird die Kreisbahn jedoch nicht mehr als einfach angesehen. Die gerade Linie ist hier das bestimmende Paradigma. Die Kreisbahn muß man sich als "gewaltsam" aus der geraden Linie hervorgebracht denken. Das intuitive Festhalten an der als überwunden geglaubten aristotelischen Auffassung mag Ausdruck der Tatsache sein, daß das intuitive Erfassen der "vollkommenen" Gestalt des Kreises dem lebensweltlichen Denken näher ist als der analytische Zugang über die Dynamik der Kreisbewegung.

Selbst Galilei, der mit Hilfe des Trägheitssatzes die Kreisbewegung als eine ständig zu erzwingende Abweichung von der geraden Linie beschrieb und damit das Fundament für die klassische Mechanik legte, beschränkte sich dabei auf "irdische" Kreise. Die Kreisbahnen der Himmelskörper nahm er davon ausdrücklich aus. Die große Synthese gelang erst Newton.

Die Auszeichnung der geraden Linie im Rahmen der klassischen Physik erfolgt über den Trägheitssatz. Er besagt, daß *ein Körper im Zustand der geradlinig gleichförmigen Bewegung oder der Ruhe verharrt, wenn er durch keine äußere Kraft daran gehindert wird*. Offenbar haben nicht nur Schüler Schwierigkeiten, Bewegungen auf einer gekrümmten Bahn, also insbesondere Kreisbewegungen im Lichte dieses Prinzips zu interpretieren. Die klassische Lehrbuchaussage, bei einem rotierenden Körper halten sich eine zum Mittelpunkt des umrundeten Kreises wirkende Zentripetalkraft und eine dem entgegengesetzt nach außen wirkende Zentrifugalkraft die Waage, zeugt im Grunde davon, daß es nicht gelingen will, von der kräftefreien aristotelischen Gestalt des Kreises loszukommen. Diese Aussage ist aber nicht nur didaktisch fragwürdig,

sondern auch fachlich falsch. Falsch ist sie deshalb, weil sie auf einen Vergleich von Äpfeln mit Birnen hinausläuft. Die im Laborsystem definierte Zentripetalkraft wird mit der im mitbewegten System definierten Zentrifugalkraft gleichgesetzt. Ganz abgesehen davon, ist die Kreisbewegung gerade kein Zeichen von Kräftegleichgewicht, weil der Kreis bereits rein visuell die Abweichung von der Geradlinigkeit und damit das Wirken einer Kraft zum Ausdruck bringt.

Die Bewegung auf einer Kreisbahn spielt im Sport immer dann eine Rolle, wenn es darauf ankommt, einem Objekt (z.B. einem Tennis- oder Baseballschläger) auf einem beschränkten Raum, also insbesondere ohne Anlauf, eine möglichst hohe Anfangsgeschwindigkeit zu erteilen. Diese Technik wird insbesondere beim Hammerwurf ausgenutzt (vgl. [1]). Für das Verständnis der Bewegung auf der Kreisbahn interessant ist vor allem die Kombination aus Kreisbahn und Gerade: Die Bewegung auf der Kreisbahn dient der Bewegung auf einer Geraden.

Für Schüler der Sekundarstufe I dürften vor allem die folgenden Fragen von Interesse sein:

- Durch welche Kräfte wird ein rotierendes Objekt auf der Kreisbahn gehalten?
- Wie wird Energie auf das rotierende Objekt übertragen?
- Wie erfolgt der Übergang von der Kreisbahn zur Geraden?

Physik auf dem Sportplatz

Die Beantwortung dieser Fragen geht vom fachlichen Anspruch her an die Grenzen dessen, was auf der Sekundarstufe I sinnvollerweise erreichbar ist. Wir haben deshalb versucht¹, die Problematik auf spielerische Weise auf dem Sportplatz anzugehen. Statt mit gefährlichen Wurfhämmern wurde mit dem heute etwas veralteten aber dafür relativ harmlosen Schleuderball "experimentiert". Die Schüler wurden aufgefordert, den Ball möglichst weit in eine vorgegebene Richtung wegzuschleudern. Daß es bei einem solchen an einer Schlaufe

¹ Es handelte sich um einen im Rahmen einer Lehrveranstaltung geplanten, in einer 10. Realschulklasse von einem Lehramtskandidaten durchgeführten Unterrichtsversuch.

fixierten Ball darum gehen würde, den Ball vor dem Abflug irgendwie herumzuwirbeln, war fast allen Schüler schon rein intuitiv klar (Abb. 1). Probleme gab es aber bei der Orientierung der Kreisbahn im Raum und bei der Zielgenauigkeit. Einige Bälle flogen fast senkrecht nach oben, andere nach hinten, wieder andere zur Seite und nur wenige - wie es sein sollte - geradeaus nach vorn. (Als die ersten Mitschüler von Bällen getroffen wurden, war klar, warum nicht mit Wurfhämmern und auch nicht mit verkleinerten Ausgaben derselben experimentiert werden sollte.)

Nach diesen Vorversuchen ging es darum herauszufinden, wie der Ball "abgeworfen" werden muß, damit er in die gewünschte Richtung fliegt. Die Schwierigkeiten, die die Schüler in der Praxis zum Ausdruck brachten - der Umgang mit schnellen Drehbewegungen kommt im Alltag halt nicht häufig vor - traten verstärkt auf bei der verbalen Beschreibung des "Ergebnisses"². Man war sich einig, daß es ganz anders ist als beim normalen Werfen, bei dem die werfende Hand in die Zielrichtung zeigen muß. Man formulierte schließlich, der Ball



Abb. 1: Der Schleuderball wird durch "Herumwirbeln" auf einer Kreisbahn "auf Touren" gebracht.

müsse erst einige Zeit nachdem die Hand die Zielrichtung durchlaufen habe, losgelassen werden. Es war einigermaßen schwierig und nachträglich ge-

² Wenn die Wurfbewegungen mit Hilfe von Videoaufnahmen dokumentiert werden, hat man die Möglichkeit, diese Diskussion auf die "Nachlese im Klassenraum" zu verlagern.

sehen auch "künstlich", die Schüler dazu zu bringen zu erkennen, daß der Arm beim Loslassen etwa senkrecht zur Wurfrichtung orientiert sein muß. Ein Schüler verblüffte schließlich mit der Lösung,

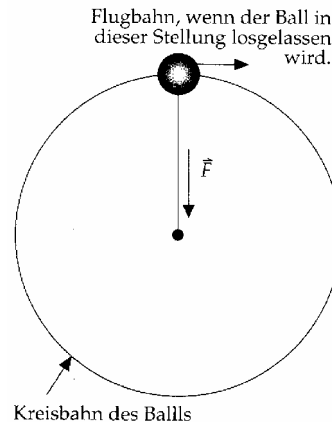


Abb. 2 Schematische Darstellung der Kreisbahn des Schleuderballs. Es muß ständig mit einer Kraft zum Drehzentrum hin gezogen werden.

daß es beim Schleuderball gar nicht anders sei als beim normalen Werfen. Hier wie dort müsse der Ball in die gewünschte Zielrichtung zeigen. Diese Aussage brachte nachträglich zum Ausdruck, daß die übrigen Schüler zu sehr auf ihre Hand und der Lehrer vermutlich zu sehr auf das physikalische Schema (Abb. 2) fixiert waren. Die Erkenntnis, daß der losgelassene Ball gerade weiter fliegt, genauer: tangential zum Kreis, auf dem er herumgeschleudert und "auf Touren" gebracht wird, wurde anschließend praktisch untermauert. Es wurden Wurfrichtungen vorgegeben (z.B. senkrecht nach oben³, auf einer waagerechten Bahn nach vorn oder - wie es für einen möglichst weiten Wurf nötig ist- schräg nach oben) und von den Schülern verlangt, sie zu realisieren.

Dabei wurde jedoch die Zielsetzung, den geradlinigen Bewegungsablauf des Balls nach dem Loslassen zu erkennen, überlagert durch das Problem der vertikalen Bahnkrümmung aufgrund der Erdanziehungskraft. Nur beim senkrechten Wurf nach oben oder beim waagerechten Wurf von oben betrachtet (Abb.2) hatte man ein durch die Bahnkrümmung aufgrund der Erdanziehungskraft ungestörtes Bild.

Die Hervorhebung dieser Spezialfälle erwies sich als nötig, damit die Schüler die Geradlinigkeit der Flugbahn wenigstens in einigen Spezialfällen direkt sehen konnten und nicht erst aus einer kom-

³ Kleinere Schüler müssen sich auf einen Kasten stellen

plizierteren Bewegung herauslesen mußten. Danach war es für sie kein Problem, von einer geradlinigen Bahn in dem Sinn zu sprechen, daß man den Einfluß der Erdanziehungskraft nicht in Betracht zog.

Wenn ein logelassener und daher von mir nicht mehr beeinflusster Ball unabhängig von seiner Vorgeschichte geradlinig und gleichförmig fliegt, ergibt sich dann nicht als zwingende Konsequenz, daß der Ball der Kreisbahn nur "gezwungenermaßen" folgte? Den Schülern wurde Gelegenheit gegeben, durch weitere Schleuderversuche, eine Antwort zu finden. Ein Schüler sagte sinngemäß: "Wenn ich den Ball sehr stark herumgeschleudert habe und mit dem "Antrieb" aufhöre, bleibt die Schlaufe trotzdem gespannt, und ich muß weiter am Ball ziehen". Diese Erkenntnis wurde weiter verschärft bis den Schülern klar war, daß ständig am Ball gezogen werden muß und zwar in Richtung Mittelpunkt des Drehkreises. Es konnte außerdem nachvollzogen werden, daß die Kraft (spürbar in den Armmuskeln), mit der am Ball gezogen wird, umso größer ist, je schwerer der Ball ist (es standen einige vorher präparierte leichtere und schwerere "Schleuderbälle" bereit) und je schneller er herumgeschleudert wird.

Um die wichtige Erkenntnis zu vertiefen, daß der Ball, wenn er könnte, tangential zur augenblicklichen Bewegungsrichtung weiterfliegen würde, wurden Experimente mit kleinen (auf Jahrmärkten erhältlichen) an Gummibändern fixierten Bällen eingeschoben. Bei diesen Experimenten zeigte sich, daß das Gummiband nicht nur wie die Schleuderballschlaufe straff, sondern außerdem länger wurde und die Tendenz des Balls kundtat, sich soweit tangential weiterzubewegen und sich vom Drehzentrum zu entfernen, wie es die Elastizität des Gummis erlaubte. Auf jeden Fall schien sich der Ball gegen die Ablenkung von der geradlinigen Bewegung zu "wehren" (Schüleräußerung). Das Ergebnis war ein Kompromiß: die Bahn wurde größer, die Bahnkrümmung kleiner. Weiterhin wurde durch die Dehnung des Gummibandes der subjektive Eindruck einer Kraftausübung zum Drehzentrum hin "objektiv" bestätigt.

Nachlese im Klassenraum

Im Klassenraum wurden diese gewissermaßen durch eigenes Fühlen untermauerten Erkenntnisse weiter verschärft. Dabei wurde insbesondere die Rolle der Trägheit hervorgehoben: Der sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit bewegende Ball wird von der geradlinigen Bahn, auf der er sich bewegen würde, wenn keine Einwirkung stattfände (- wie sich zeigt, wenn man ihn losläßt -), durch

eine senkrecht zur Bewegungsrichtung (Tangente im jeweiligen Punkt) zum Drehzentrum hin ausgeübte Kraft abgelenkt. Da dies ständig geschieht, ergibt sich zwangsläufig eine Kreisbahn (Abb.2). Eine Schülerin brachte die neu gewonnene Sehweise auf den Punkt, indem sie etwa folgendermaßen formulierte: "Ein kreisender Gegenstand ist nur ein verhinderter geradeaus fliegender".

Ein anderer Schüler machte schließlich darauf aufmerksam, daß man den kreisenden Ball nicht nur ständig zum Drehzentrum hin, sondern auch "ein klein wenig hinter sich her ziehen" muß. Denn anderenfalls würde der Ball durch den Luftwiderstand zur Ruhe kommen und könnte außerdem gar nicht erst auf Touren gebracht werden. Dieser Hinweis lenkte schließlich die Aufmerksamkeit des Unterrichts auf den Antriebsaspekt beim Schleuderball. Es wurde sehr schnell klar, daß die auf den Schleuderball ausgeübte Kraft nicht nur zentripetal, zum Drehzentrum hin, sondern auch ein wenig in Bewegungsrichtung des Balls, also tangential zur Kreisbahn, wirken muß. Das kann man an dem Winkel erkennen, der sich zwischen ziehenden Arm und Schlaufe einstellt. Zeichnet man die beiden - im Idealfall konzentrischen - Kreise, auf denen die Hand und der Ball sich bewegen, so lassen sich die auf den Ball wirkenden Kräfte kenntlich machen (Abb.3).

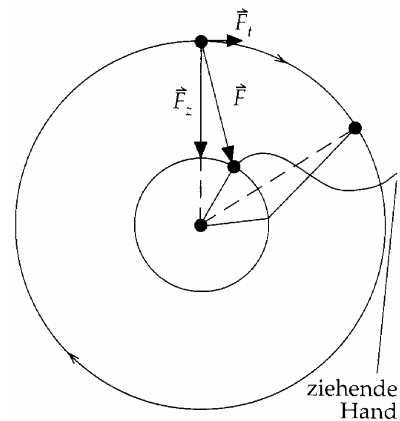


Abb. 3: Schematische Darstellung zum "Antrieb" des Schleuderballs. Die den Ball auf dem Außenkreis bewegende Hand läuft auf dem Innenkreis um. Sie zieht mit einer Kraft F am Ball, die einen zentripetalen Anteil F_z , und einen tangentialen Anteil F_t , besitzt.

Schleuderball ohne Schlaufe

In einer folgenden Schulstunde brachte ein Schüler ein Spielzeug mit, von dem er meinte, daß es "irgendwie zum Thema" gehöre. Es handelte sich um einen Ring mit Führungsrille, in der ein Ball zum Rotieren gebracht werden mußte (Abb.4). Dazu wurde der Ring mit beiden Händen zunächst auf-

recht gehalten und der Ball hineingelegt. Der Ball wurde anschließend zunächst in eine möglichst große Hin- und Herbewegung versetzt und dann im passenden Moment durch geeignetes Drehen des Rings zum Rotieren in der Führungsrille gebracht. Obwohl die Ähnlichkeit zum Schleuderball intuitiv klar war, blieb die Frage, wodurch in dieser Anordnung das Seil ersetzt wird. Durch zahlreiche eigene Rotationsversuche mit dem Spielzeug, bei der die Schüler beobachteten, was sie intuitiv machten, um den Ball zu beschleunigen und ihn in der Rinne des Rings zu halten, fanden sie schließlich heraus: In diesem Fall wird der Ball nicht zum Zentrum gezogen, sondern durch die Rinne zum Zentrum "gedrückt". Die Rotation des Rings wird gerade so ausgeübt, daß der Ball stets schräg von oben von der Geraden zum Zentrum abgelenkt und zugleich etwas geschoben wird.

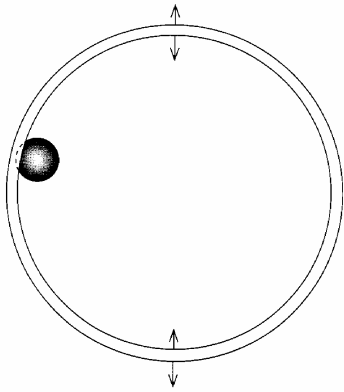


Abb. 4: Der in der Rinne des Spielzeugs umlaufende Ball kann durch eine Auf- und Abbewegung "angetrieben" werden.

An dieser spielerischen Variante des Schleuderballs konnten die Schüler eine weitere Erfahrungen machen: Die Trägheit, mit der der Ball auf der von ihm bevorzugten Gerade bleiben "möchte", wird so groß, daß die Schwerkraft nur eine untergeordnete Rolle spielt. Denn es macht kaum einen Unterschied, ob ich den Ball bei senkrechter, waagerechter oder einer anderen Orientierung des Rings umlaufen lasse.

Interessant ist außerdem, daß man bei diesem Spielzeug den Ball eine ganze Weile sich selbst überlassen kann, bis er durch Reibung so stark abgebremst ist, daß die Schwerkraft dominiert und der Ball aus der Rinne herausfällt.

Schließlich fand ein Schüler heraus, daß - wenn der Ball genügend schnell rotiert- es gar nicht nötig ist, den Ring zum Zwecke des Antriebs in Rotation zu versetzen. Es genügt, wenn man ihn im richtigen Rhythmus - je nach Orientierung des Rings im

Raum - hin und her oder auf und ab bewegt. Man beschleunigt den Ball dann zwar i.w. nur, wenn die Bewegungsrichtung des Balls mit der des Rings übereinstimmt. Dies reicht offenbar aber aus, die während der gesamten Rundreise auftretenden Reibungsverluste auszugleichen.

Weitere Anwendungen

Um die Erschließungsmächtigkeit des Trägheitsprinzips zu demonstrieren, empfiehlt es sich, das am Beispiel des Schleuderballs erarbeitete physikalische Erklärungsprinzip auf weitere Phänomene zu übertragen. Hier zeigt sich u.E. , daß die Schwierigkeiten, die die Schüler beim Transfer des Gelernten zum Ausdruck bringen, weniger in der Kompliziertheit des jeweiligen Anwendungsbeispiels als vielmehr in dessen phänomenologischer Verschiedenheit begründet sind: Was hat schon die Tatsache, daß man als Beifahrer beim Fahren einer Linkskurve gegen die Autotür gedrückt wird, mit einem herumgeschleuderten Ball zu tun.

Die Schüler lösen sich nur widerwillig aus der vertrauten Erlebnissituation: Ich sitze im Auto und werde gegen die Tür gedrückt. Es erscheint ihnen abwegig, sich gedanklich vom Straßenrand aus bei einer Kurvenfahrt zu sehen. Sobald sie sich aber darauf einlassen, wird ihnen die Parallele zum Schleuderball sehr schnell klar: Der Beifahrer im Kurven fahrenden Auto "möchte" aus Trägheit seine Geradeausbewegung beibehalten und würde daher zwangsläufig mit der Autotür zusammenstoßen, wenn ihn nicht der Sicherheitsgurt daran hinderte und zwänge, die Kurvenfahrt mitzumachen. Die Kraft, die der Sicherheitsgurt solange auf den Körper des Beifahrers ausübt wie die Kurvenfahrt andauert, ist eine ständige Erinnerung daran, daß hier etwas erzwungen wird: die Abweichung von der geradlinigen Bewegung.

Daß es beim physikalischen Verstehen durch Transfer darauf ankommt, stets den "alten Bekannten" des Paradebeispiels - hier des geschleuderten Balls - wiederzuerkennen, hat Martin Wagenschein an dem "reizvollen Rätsel" erläutert, "daß man eine gefüllte, aber offene Milchkanne in hohem Bogen über den Kopf hinwegschleudern kann, ohne daß die Milch auf dem höchsten Punkt ihrer Bahn ausläuft.- Man versteht es, man staunt nicht mehr, wenn man erkennt, daß es dieser Milch nicht anders gehen kann (im Rahmen der Physik) als ... (einem Ball), der da oben waagrecht fortgeschleudert wird. Auch er wird ja nicht gleich senkrecht hinunterplumpsen, sondern im Bogen allmählich, sich abwärts bewegen, genau wie die Milch. Auch sie wird geworfen.- Hier ist die befremdende scheinba-

re Schwerelosigkeit der Milch ganz entlarvt als 'ein alter Bekannter': das Fliegen... (des Balls). 'Daher kommt es, darauf beruht es', daß die Milch nicht ausläuft!" [2]. Im Unterricht wird man dieses Phänomen mit einem wassergefüllten Plastikbecher (manchmal geht es halt doch schief) demonstrieren, den man auf eine an einer Schnur fixierten Plattform stellt und herumschleudert (Abb. 5). Das will fast jeder Schüler selbst gemacht haben. Denn jetzt kann man das Verhalten des Wassers zwar erklären, aber man muß es auch glauben können.

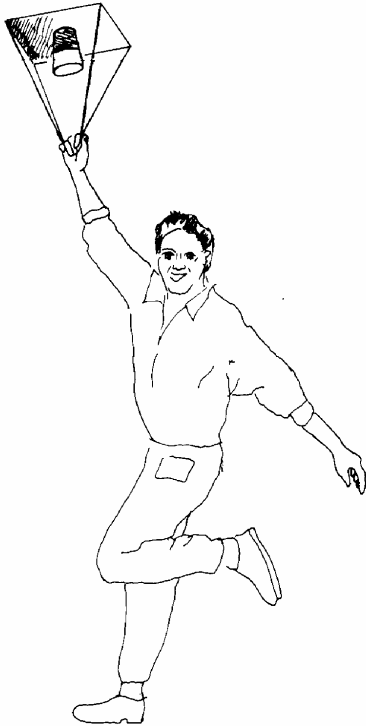


Abb. 5: Das Wasser im herumfliegenden Wasserglas läuft nicht aus.

Weitere Beispiele, wie das In - die- Kurve- legen eines Motorradfahrers, das schnelle Laufen in einer engen Kurve, aber auch das Um-die-Sonne-kreisen der Erde oder eines anderen Planeten können jetzt im Unterricht als verkappte Schleuderbälle enttarnt werden: „Die Erde ist eine Gondel, die an der Sonne hängt und auf der wir aus einer Jahreszeit in die andere fahren“ (J.P. Hebel).

Literatur

[1] Schlichting, H.J.: Einfache Themen zur Physik des Sports. In diesem Heft.

[2] Wagenschein, M.: Die Sprache im Physikunterricht. In: Naturphänomene sehen und verstehen. Stuttgart: Klett 1980, S. 131f.