

Begleitmaterial zur Ausstellung

„Rund um den Ball“

Eine Mitmachausstellung für Kinder von 6 bis 12 Jahren

5. März bis 29. Juni 2008

2. Teil: Ballphysik

In diesem Kapitel sind mehrere Artikel zum Thema Ballphysik zusammengefasst. Ausgangspunkt ist die Frage, ob der Ball eigentlich wirklich rund ist. Diese Frage erscheint auf den ersten Blick absurd, doch bei genauerer Betrachtung stellt sich heraus, dass der Fußball in Wirklichkeit eckig ist. So paradox es klingt: Der Ball ist umso runder, je mehr Ecken er hat. Siehe dazu Kapitel 2.1: Ist der Ball rund?

Über die Ecken des Balls kommen wir direkt ins antike Griechenland zu Platon und Archimedes: Die beiden Philosophen haben sich mit Geometrie beschäftigt und mit geometrischen Körpern experimentiert. Der Fußball, wie wir ihn kennen ist ein archimedischer Körper, ein so genannter „abgestumpfter Ikosaeder“, der aus 12 Fünfecken und 20 Sechsecken besteht. Näheres dazu findet man in Kapitel 2.2 über die platonischen und archimedischen Körper.

Kapitel 2.3 ist dem Flugverhalten des Balls gewidmet, unter anderem der Wurfparabel und der Bananenflanke. In Kapitel 2.4 werden abschließend noch einmal alle Stationen der ZOOM-Ausstellung, in denen es um Physik geht, genauer beschrieben und erklärt.

Inhaltsübersicht:

2.1 Ist der Ball rund?

2.2 Platonische und archimedische Körper

2.3 Das Flugverhalten des Balls

2.4 Ballphysik anhand ausgewählter Stationen in der ZOOM-Ausstellung

2.1 Ist der Ball rund?

Von wegen rund – der Ball hat sechzig Ecken!

Von Prof. Wolfgang Ebeling, Institut für Algebraische Geometrie, Universität Hannover

Beitrag als PDF-Download unter: [http://www.kindermuseum.at/jart/prj3/zoom/main.jart?](http://www.kindermuseum.at/jart/prj3/zoom/main.jart?rel=de&content-id=1127101351517&reserve-mode=active)

[rel=de&content-id=1127101351517&reserve-mode=active](http://www.kindermuseum.at/jart/prj3/zoom/main.jart?rel=de&content-id=1127101351517&reserve-mode=active)

2.2 Platonische und archimedische Körper

Welcher Platonische oder Archimedische Körper eignet sich am besten als Fußball? Warum besteht der Fußball meistens aus 20 regelmäßigen Sechsecken und 12 regelmäßigen Fünfecken?

Von Werner Brefeld (www.brefeld.homepage.t-online.de)

Üblicherweise wird ein Fußball aus Lederstücken zusammengenäht, die die Form von regelmäßigen Vielecken besitzen. Dabei wählt man eine regelmäßige Anordnung der Vielecke. Das bedeutet, dass jede Ecke, an der die Vielecke zusammenkommen, gleich aussieht. Solche Körper nennt man Platonische Körper und Archimedische Körper. Haben sie nur eine Sorte von regelmäßigen Vielecken auf ihrer Oberfläche, spricht man von Platonischen Körpern, haben sie mehr, nennt man sie Archimedische Körper. Bei allen diesen Körpern liegen die Eckpunkte auf einer Kugeloberfläche. Anders ausgedrückt, diese Körper besitzen eine Umkugel. Das macht sie als Kandidaten für die Herstellung eines Fußballs sehr attraktiv.

Es gibt 5 Platonische Körper und, wenn man die Prismen und Antiprismen nicht mitzählt, 13 Archimedische Körper. Unter diesen 18 Körpern wählt man nun die aus, die möglichst rund sind, oder, genauer gesagt, bei denen das Verhältnis von Inkugelradius zu Umkugelradius möglichst groß ist. Während sowohl Platonische Körper als auch Archimedische Körper Umkugeln besitzen, haben streng genommen nur Platonische Körper Inkugeln. Bei den Archimedischen Körpern besitzt jede Sorte ihrer regelmäßigen Vielecke eine Inkugel mit jeweils unterschiedlichem Radius. Alle diese Inkugeln haben allerdings den gleichen Mittelpunkt. Zu den Vielecken mit der größten Eckenanzahl gehört die Inkugel mit dem kleinsten Radius. Der jeweils kleinste Inkugelradius wurde bei den Berechnungen für die Tabelle zugrunde gelegt:

Körper	Inkugelradius/ Umkugelradius	Anzahl der Flächen pro Ecke	Anzahl der Flächen	Anzahl der Kanten
Rhombenikosidodekaeder	92.46 %	4	62	120
abgeschrägtes Dodekaeder	91.89 %	5	92	150
abgestumpftes Ikosaeder	91.50 %	3	32	90
abgestumpftes Ikosidodekaeder	90.49 %	3	62	180

Wie man sieht, belegen die Archimedischen Körper die ersten vier Plätze. An dieser Rangfolge ändert sich auch nichts, wenn man die unendlich vielen Prismen und Antiprismen mit in die Untersuchung einbezieht. Mit steigender Eckenanzahl der beiden sich gegenüberliegenden Vielecke werden die Prismen und Antiprismen immer dünner und dadurch das Verhältnis der Radien immer ungünstiger.

Es ist nachteilig, viele Flächen an einer Ecke zusammennähen zu müssen. Daher wird man unter den rundesten Körper diejenigen bevorzugen, bei denen nur drei Flächen an einer Seite zusammentreffen. Außerdem ist es vorteilhaft, wenn der Körper nicht zu viele Flächen und Kanten besitzt. Durch die Zahl der Kanten wird ja die Zahl der benötigten Nähte bestimmt. Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen fällt die Wahl auf das abgestumpfte Ikosaeder mit seinen 12 regelmäßigen Fünfecken und 20 regelmäßigen Sechsecken.

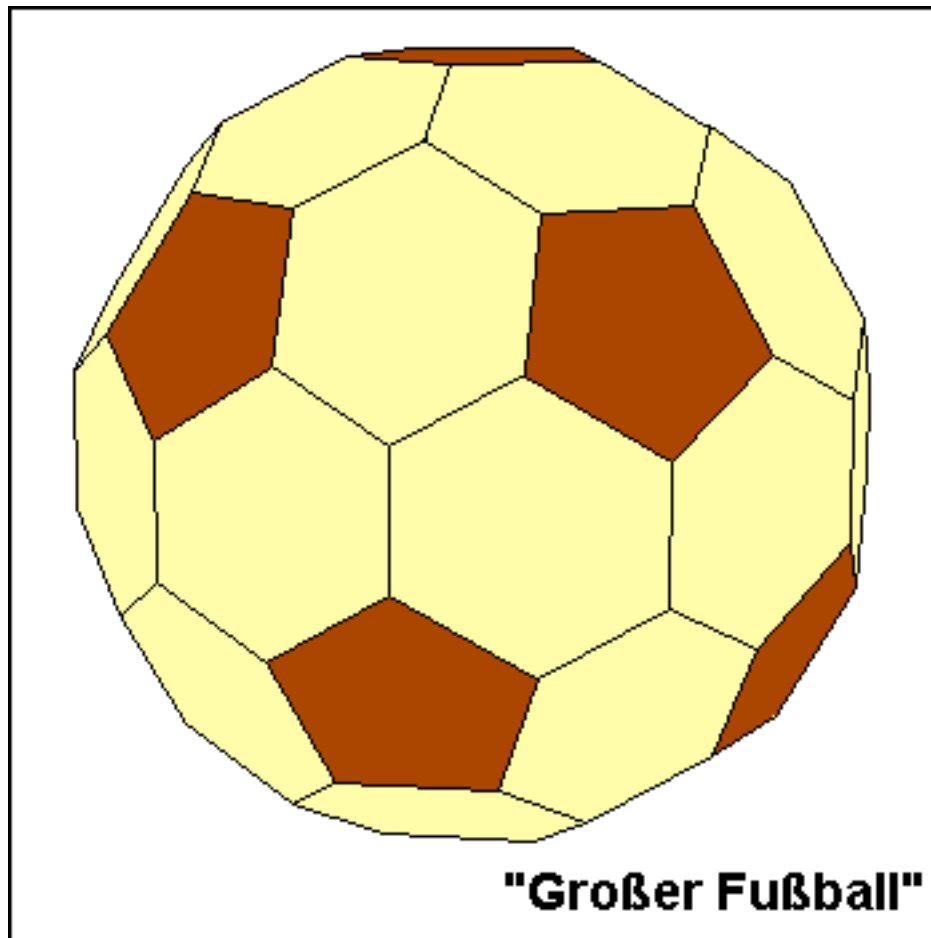
Ein weiterer Aspekt ist, dass die durch die unterschiedlichen regelmäßigen Vielecke hervorgerufenen Unterschiede in den Abweichungen von der Kugelform möglichst klein ausfallen sollen. Das ist dann der Fall, wenn sich die regelmäßigen Vielecke auf der Oberfläche in ihrer Größe möglichst wenig unterscheiden. Auch hier schneidet das abgestumpfte Ikosaeder mit seinen Fünfecken und Sechsecken unter den rundesten Archimedischen Körpern am besten ab.

Tatsächlich haben auch fast alle Fußbälle die Grundform eines abgestumpften Ikosaeders. Selten kann man auch einen Fußball in Form eines Rhombenikosidodekaeders mit seinen 20 regelmäßigen Dreiecken, 30 Quadraten und 12 regelmäßigen Fünfecken antreffen.

Man kann ein abgestumpftes Ikosaeder nach der oben angegebenen Definition noch runder machen kann, wenn man die Fünfecke weiter vergrößert, indem man das Ikosaeder weiter abstumpft (siehe Referenz). Das ist möglich, weil die kleinste Inkugel nur die Sechsecke berührt. Eine weitere Abstumpfung führt dann dazu, dass sich die Fünfecke dieser Inkugel annähern. Bis zur Berührung der Inkugel durch die Fünfecke ändert sich also der kleinste Inkugelradius nicht, während der Umkugelradius abnimmt. Der Körper wird also runder. Allerdings verändert sich dann das regelmäßige Sechseck zu einem Sechseck, das abwechselnd verlängerte und verkürzte Seiten besitzt. Die verlängerten Seiten sind natürlich genauso lang wie die Fünfecksseiten, an denen sie angrenzen. Eine entsprechende Rechnung ergibt, dass dann die verkürzten Sechsecksseiten 69,198% der Länge der Fünfecksseiten haben.

Für den so entstandenen optimierten Fußball vergrößert sich das Verhältnis von kleinstem Inkugelradius zu Umkugelradius von 91.50% auf 92.26%. Damit ist dieser Körper sogar noch runder als das abgeschrägte Dodekaeder mit 91.94% und fast so rund wie das Rhombenikosidodekaeder mit 92.46%.

Gelegentlich wird auch der so genannte "Große Fußball" (siehe Abbildung) als Möglichkeit genannt, einen Fußball herzustellen. Dieser Körper besitzt 12 Fünfecke und 30 Sechsecke, also insgesamt 42 Flächen. Die Anzahl der Kanten beträgt 120. Man erhält so einen Polyeder, wenn man die Kanten eines Dodekaeders geeignet abschneidet.



Allerdings ist dieser Polyeder kein Archimedischer Körper, weil seine 30 Sechsecke nicht regelmäßig sind. Wären sie regelmäßig, müssten jeweils drei Sechsecke, die an einer Ecke zusammenstoßen, eine Ebene bilden, weil die Winkelsumme ihrer Innenwinkel 360° beträgt. Man erkennt, dass dann sogar alle Sechsecke ein ebenes Parkett bilden müssten. Im Gegensatz zu einem Archimedischen Körper besitzt dieser "Große Fußball" keine eindeutig definierte Umkugel.

2.3 Das Flugverhalten des Balls

Im Mittelalter war man noch überzeugt, dass eine Kugel, die man in die Luft wirft, genau senkrecht wieder herunterfällt. Heute wissen wir, dass eine Kugel, die man in die Luft wirft, während des Fallens einen Bogen beschreibt – die Wurfparabel.

Die Wurfparabel, also der Bogen, entsteht durch die Erdanziehungskraft, den Winkel und die Kraft, mit der die Kugel abgeschossen wird. Die Erdanziehungskraft bleibt dabei immer gleich. Mit Abschusswinkel und Schusskraft kann man den Bogen aber beeinflussen.

Zur Wurfparabel: Die Geschichte des schiefen Wurfes

Quelle: <http://www.mathezentrale.de>

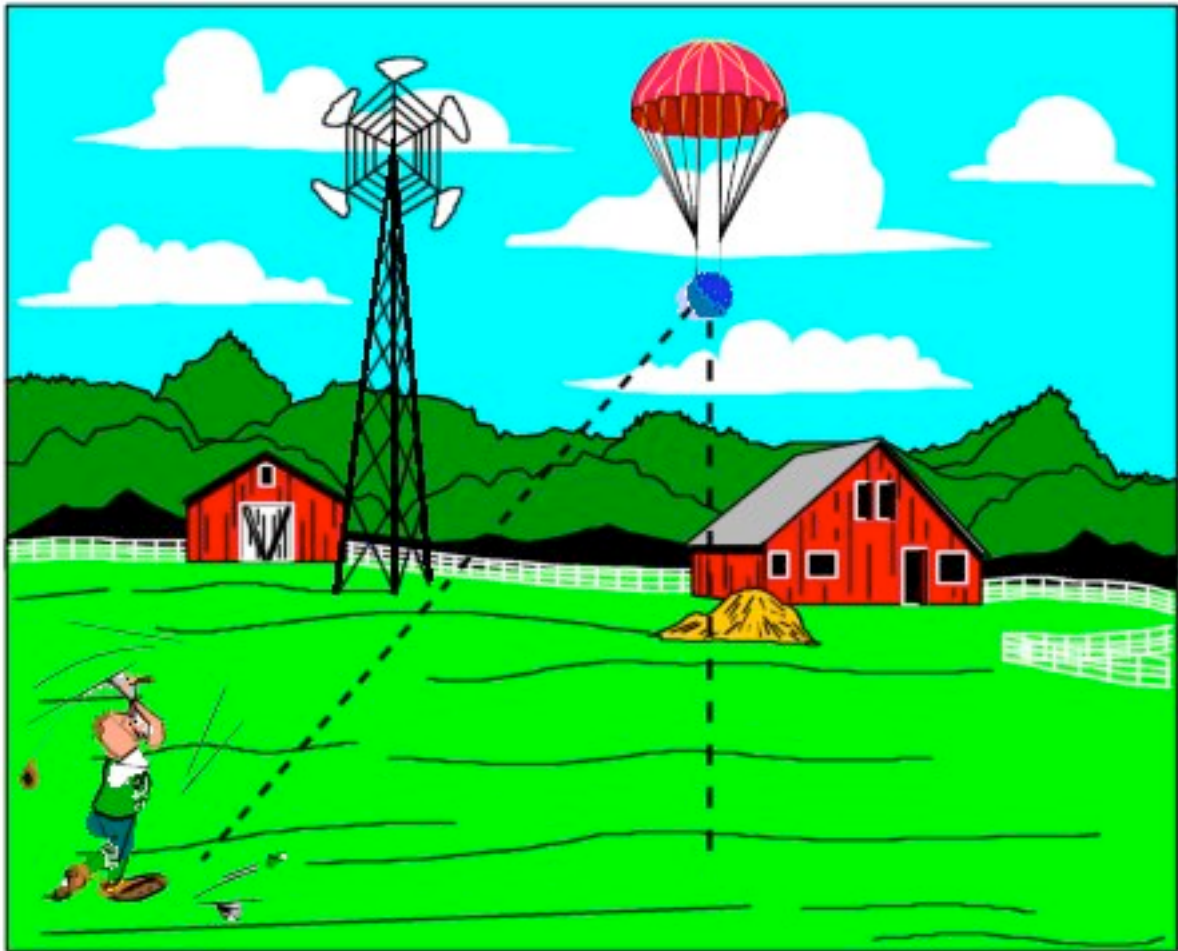
In diesem Beitrag möchte ich dir eine Anwendung beschreiben, die die Bereiche der Mathematik und Physik verbindet. Es geht um das Aussehen der Bahn eines Balles oder einer Kanonenkugel. Vielleicht hast du ja erste Vorstellungen, wie sich ein Ball durch die Luft bewegt, wenn man ihn wirft. Ein realgeschichtlicher Bezug streift kurz den historischen Werdegang der heutigen Erkenntnisse und soll zu eigenen Untersuchungen anregen, denn nur so wirst du irgendwann den Triumph erlangen und an den Errungenschaften der Wissenschaften teilhaben.



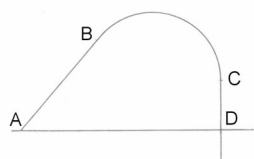
Interessant ist sicherlich auch das Kanonenwettschießen, das in der Geschichte tatsächlich stattgefunden hat, um Theorien zu bestätigen oder zu widerlegen. Ein Wettwerfen mit deinen Freunden zu diesen Fragestellungen wird sicher auch den letzten Maulwurf aus seinem Bau treiben:



Im Mittelalter stellte man sich vor, dass die Bahn eines Balles geradlinig in Schussrichtung verläuft. Wenn dann irgendwann seine Geschwindigkeit so weit absinkt, bis sie gleich Null ist, dann würde der Stein senkrecht auf die Erde fallen.



Niccolò Fontana (Tartaglia) (geboren 1499 in Brescia und gestorben 1557 in Venedig) lebte im heutigen Italien und wurde bereits als Kind bei der Eroberung von Brescia durch die Franzosen im Jahre 1512 durch einen Säbelhieb so stark verletzt, dass er von da an stotterte. Deshalb hieß er auch Tartaglia, das ist Italienisch und heißt der Stotterer. Trotz seiner Herkunft aus armen Verhältnissen und einer kurzen Schulausbildung trug Tartaglia zur Erkenntnisgewinnung in der Physik und Mathematik bei. Er war zum Beispiel als Erster in der Lage, allgemeine kubische Gleichungen durch eine von ihm entwickelte Formel zu lösen. Vorher war das nur für spezielle kubische Gleichungen möglich. In der Schrift „La Nova Scientia“ beschrieb Tartaglia 1537 seine Vorstellungen von der Geschossbahn einer Kanonenkugel. Er dachte, dass sich die Kanonenkugel nach Verlassen des Geschützrohres geradlinig von A nach B bewegt, dann durch die Schwerkraft in eine Kreisbahn von B bis C gezwungen wird um dann schließlich senkrecht von C nach D herunter zu fallen.

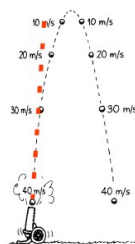


Tartaglia überlegte, dass die Schussweite der Kugel am größten sei, wenn die Kreisbahn genau die Erde wieder treffen würde, also wenn C und D ineinander fallen. Das ist nach seiner Vorstellung

genau bei einem Abschusswinkel von 45° der Fall. In einem Wettschießen mehrerer „capo di bombardiere“ wurden seine Vermutungen bestätigt. Sein Buch mit den Ergebnissen seiner Untersuchungen zu der Geschossbahn von Kanonenkugeln wurde noch lange in der Kanonierausbildung verwendet.

Seit Galileo Galilei (geboren am 15.2.1564 in Pisa und gestorben am 8.1.1642 bei Florenz), wissen wir, dass die Schwerkraft gleich zu Beginn auf die Kugel wirkt, wenn diese das Geschützrohr verlässt. Das bewirkt, dass sich die Kugel unterhalb der von Tartaglia gedachten Linie bewegen muss, welche auf dem Neigungswinkel der Kanone liegt. Galileo Galilei hat in mehreren Experimenten bewiesen, dass die Bahn der Kugel im luftleeren Raum einer Parabel entspricht. Ohne die Schwerkraft würde die Kugel die geradlinige rote Bahn nicht mehr verlassen. Mit der Schwerkraft setzt sich die Gesamtbahn aus einer geradlinigen gleichförmigen Bewegung in Richtung der Rohrneigung und aus der Fallbewegung zusammen.

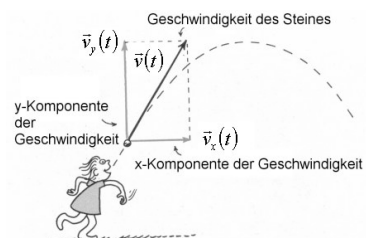
$$\vec{v}_{\text{Gesamt}} = \vec{v}_{\text{geradlinig}} + \vec{v}_{\text{Fall}}$$



Aus der Physik wissen wir, dass für die geradlinige gleichförmige Bewegung folgendes gilt: Man

zerlegt die Bewegung $\vec{v}_{\text{geradlinig}}$ in eine horizontale und eine vertikale Teilbewegung. Beide Teilbewegungen sind gleichförmig, solange keine Luftreibung berücksichtigt wird. Wir benutzen

hierfür die Methoden der Vektorrechnung. Der Geschwindigkeitsvektor $\vec{v}_{\text{geradlinig}}$ besitzt je eine Geschwindigkeitskomponente in x- und y-Richtung.



3.2 Die Bananenflanke

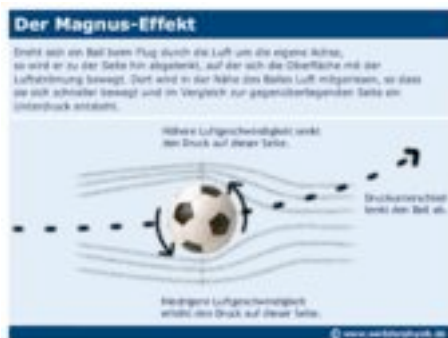
Wieso ist die Bananenflanke krumm?

Quelle: www.weltderphysik.de

Fußbälle können sich entlang einer gekrümmten Bahn bewegen, wenn sie nur richtig angeschnitten werden. Dahinter steckt der Magnus-Effekt und jede Menge Physik.

Mit der Bananenflanke tricksen gute Fußballer die gegnerische Abwehr aus: Dadurch dass der Ball durch Anschneiden in Rotation versetzt wird, bewegt er sich elegant in einer gekrümmten Bahn ins gegnerische Tor hinein. Bananenflanken sind für den Tormann vollkommen unberechenbar und deshalb sehr gefürchtet. Auch bei Tennis, Tischtennis und vielen anderen Ballsportarten nutzen Spieler einen physikalischen Effekt, der Bälle um Ecken fliegen lässt: den Magnus-Effekt.

Der Magnus-Effekt



Quelle: <http://www.weltderphysik.de/de/4422.php?i=4431>

Benannt ist der Effekt, der zur Bananenflanke führt, nach seinem Entdecker, dem deutschen Physiker und Chemiker Heinrich Gustav Magnus (1802-1870). Das Phänomen tritt immer dann auf, wenn sich eine Kugel zugleich um die eigene Achse dreht und sich durch ein Medium wie Luft oder Wasser bewegt.

Durch die Drehung um die eigene Achse entsteht ein Druckungleichgewicht, das den Ball zu der Seite hin ablenkt, auf der sich die Balloberfläche mit der Luft bewegt (siehe Grafik). Das Druckungleichgewicht entsteht, weil die raue Oberfläche des Balls Luft mit sich führt. Die eine Ballseite dreht sich mit der Luftströmung, wodurch die Luft nahe am Ball schneller fließt. Auf der anderen Seite bremst die mitgerissene Luft die entgegenkommende ab. Wenn man jetzt noch weiß, dass mit zunehmender Luftgeschwindigkeit der Druck abnimmt (ein Effekt, der dafür sorgt, dass Flugzeuge abheben), sind Druckungleichgewicht und Bahnablenkung schon geklärt.

Was beim Ball so einfach aussieht, ist in Wirklichkeit dann meist doch weit komplizierter. So lässt sich die Strömungen um komplexe Gegenstände nur selten mit Bleistift und Papier berechnen, in der Forschung und bei der Konstruktion von Schiffen und Flugzeugen gehören vielmehr Modelle und Hochleistungsrechner zum Alltag.

2.4 Ballphysik anhand ausgewählter Stationen in der ZOOM-Ausstellung

Nach der Ausstellungseinführung von: Neues Universum e.V., Berlin 2006

Hinter den genialsten Pässen wirken Kräfte, die die Physiker erklären können. Wenn David Beckham den Ball mit über 100 km/h Geschwindigkeit aus dem Mittelfeld kickt, wirken diese Kräfte genauso wie bei den phänomenalen Bananenflanken von Roberto Carlos. Aber auch jeder normale Spieler setzt sie in Gang, wenn er auf einem Acker bolzt.

An sechs Stationen der Ausstellung werden diese Phänomene hier nochmals beschrieben.

Installationen zur Galilei-Parabel und zur Flugbahn eines Fußballs

Legt man die Kugel in den Abschusskanal dieser Installation und schießt sie ab, fliegt die Kugel im Bogen über die geneigte Platte. Um das Tor zu treffen muss man den richtigen Abschusswinkel und die passende Abschussgeschwindigkeit finden.

Die Kugel erhält beim Abschuss eine Anfangsgeschwindigkeit schräg nach oben. Auf einer waagrechten Tischplatte würde die Kugel in dieser Richtung und mit dieser Geschwindigkeit geradeaus rollen. Auf der schrägen Platte jedoch lässt die Schwerkraft der Erde die Kugel auf der Schräge wieder nach unten rollen, je steiler die Neigung der Schräge, desto mehr; wenn die Schräge senkrecht steht, ergibt sich eine Wurfparabel.

Beide Bewegungen – mit gleicher Geschwindigkeit schräg nach oben und immer schneller werdend wieder nach unten – passieren gleichzeitig. Zusammen ergeben sie einen Bogen, die Galilei-Parabel.

Wie bei der Kugel am Tisch, spielt auch am Fußballfeld der Winkel, mit dem man den Ball abschießt, eine Rolle. Je größer dieser Winkel ist, desto höher fliegt der Ball. Da jeder Spieler den Ball aber passgenau schießen will, damit er nicht irgendwo in der gegnerischen Mannschaft landet, muss er den besten Winkel kennen, um seinen Pass zu platzieren. Die meisten Spieler wissen aus Erfahrung, in welchem Winkel sie den Ball kicken müssen. Die größte Reichweite hat der Ball, wenn er ungefähr in einem Winkel von 45° (Parabel mit 45° Abschusswinkel) abgeschossen wird.

Schon im frühen 17. Jahrhundert stellte der italienische Physiker und Astronom Galileo Galilei bei einem Experiment mit einer Kanonenkugel und einer Holzkugel fest, dass Gegenstände gleich schnell fallen. Schräg abgeschossene Gegenstände aber folgen immer einer gekrümmten Flugbahn. Das kann bei der zweiten Installation zur Flugbahn nachvollzogen werden.

Die Flugbahn des Balls lässt sich nämlich in zwei unterschiedliche Bewegungen zerlegen: in eine vertikale und in eine waagrechte. Er bewegt sich also gleichzeitig in zwei Richtungen. Bei der vertikalen Bewegung wird der Ball durch die Erdanziehung gleichmäßig beschleunigt, bei der waagrechten aber bleibt seine Geschwindigkeit gleich. Diese Flugbahn, in der der Ball fliegt, nennt man eine Wurfparabel.

Die Erdanziehungskraft und die Schusskraft wirken also unabhängig voneinander. Und genau deswegen fliegt der Ball auch immer in einer Parabel zu Boden.

Installationen zu Bananenflanke und Magnuseffekt

Wenn man ein Fußballspiel aus dem Hubschrauber ansehen würde, sähe es so aus, als würden die Bälle immer in geraden Linien über den Platz fliegen. Doch manchmal verlässt der Ball die Ebene und zieht eine eigentümlich gebogene Linie; eine Bananenflanke. Sie wird im Fußball erst seit 35 Jahren gespielt und ist in jeder Hinsicht sensationell.

Der britische Physiker Isaak Newton stellte bereits im 17. Jahrhundert fest, dass die Flugbahn eines Balls beeinflusst wird, wenn man ihm beim Abschuss einen Drall gibt. Ihm war klar, dass irgendeine Kraft auf den Ball einwirken musste, die ihn in diese Bahn treibt. Doch Newton konnte das Problem noch nicht lösen. Erst 200 Jahre später fand der deutsche Physiker Gustav Magnus den Grund für die Ballbewegung heraus: Damit ein Ball so eine eigentümliche Flugbahn zieht, muss von der Seite eine Kraft auf ihn einwirken, und diese Kraft bewirkt die Luft.

Wird ein Ball geschickt mit dem Innenrist geschossen, fängt er an, sich um sich selbst zu drehen. Durch die Drehbewegung reißt er die Luft, die ihn umgibt, mit sich. Und zwar in der Richtung, in der er sich dreht. Dadurch strömt die Luft in Richtung der Drehbewegung schneller, während sie auf der anderen Seite durch den Ball abgebremst wird. Durch diese Veränderung der Luftströmung entsteht eine Kraft quer zur Schussrichtung, die auf den Ball einwirkt. Sie lenkt ihn von der geraden Flugbahn ab. Diesen Effekt nennt man nach seinem Entdecker den Magnus-Effekt.

Beobachten kann man diesen Effekt bei der Installation des Ballpendels: Wird der Ball aus seiner Ruhelage ausgelenkt und losgelassen, bleiben seine Pendelbewegungen in einer geraden Bahn. Wenn der Ball nun hin und her pendelt, umströmt ihn der Fahrtwind auf beiden Seiten. Dabei wird die Luft auf beiden Seiten um den Ball herum gelenkt und nicht zur Seite. Der Luftstrom ändert seine Richtung nicht.

Nimmt man aber den Griff in die Hand und versetzt den Ball in Drehung, bewegt sich der Ball in seinen Schwingungen in die Richtung, in die er in Drehung versetzt wurde. Wenn der sich drehende Ball pendelt, wird der Fahrtwind auf der einen Seite stärker abgelenkt als auf der anderen. Die Luft erhält einen Impuls quer zur Bewegungsrichtung und der einen entgegengesetzten Impuls. Damit wirkt auf den Ball quer zur Flugrichtung eine Kraft auf den Ball. Diese Kraft lenkt den Ball seitlich ab.

Installation zu Impuls

Jeder bewegte Gegenstand hat einen *Impuls*, der von seiner Geschwindigkeit (Richtung und Schnelligkeit) und seiner Masse abhängt. Trifft ein Gegenstand auf einen anderen Gegenstand, so ist die Summe der Impulse beider Gegenstände nach dem Stoß genauso groß wie vor dem Stoß. Die „Impulspfeile“ werden aneinandergehängt. Beim einem Kopfball während des Spiels wird der Impuls des Balls dadurch geändert, dass der Kopf gegen den Ball stößt: Der Ball ändert seine Richtung und zugleich wird die Bewegung des Kopfes abgebremst. Die Impulse von Ball und Kopf vor dem Kopfstoß ergeben zusammen genau den Impuls des Balles und des Kopfes nach dem Stoß; weil der Kopf beim Kopfstoß auf Null abgebremst wird, ist sein Impuls Null.

Mittels der Scheiben und der unter der Spieloberfläche angebrachten Magnete, kann an dieser Installation das Phänomen des Impulses wie oben festgestellt werden.

Impuls kommt vom lateinischen Wort „impulsus“, das „Stoß“ bedeutet beziehungsweise vom lateinischen „impellere“, was soviel wie „bewegen“ oder „antreiben“ heißt. Physikalisch beschreibt der

Impuls den Zustand einer bewegten Masse oder eines bewegten Gegenstandes. Energie bedeutet die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Der Fußball hat eine ganz bestimmte Masse, denn er besteht ja aus verschiedenen chemischen Stoffen: Leder, Gummi, Luft, Farbstoffe und Nähgarn, das die Lederstücke auf seiner Oberfläche zusammenhält. Wenn der Ball sich bewegt, besitzt er eine bestimmte Geschwindigkeit. Sein Impuls ergibt sich nun aus seiner Masse, die mit seiner Geschwindigkeit malgenommen oder multipliziert wird. Daher kann ein kleiner, leichter Ball mit geringerer Masse den gleichen Impuls wie ein großer, schwerer Ball besitzen, wenn er sich nur schneller als der große Ball bewegt.

Installation zum Venturi-Effekt (ehemals Impulserhaltung)

Der Fußball und der Luftstrom durch den Fön, bei dieser Installation sind mit einem Fluss vergleichbar: Wird ein Fluss an einer Stelle schmaler, wird dafür das Wasser an dieser Stelle schneller fließen. Den Fluss verkörpert hier der Luftstrom, die „schmale Stelle“ ist der Ball. Strömt nun bei dieser Station Luft über eine Seite des Balls, muss sich die Luft beschleunigen, wie der Fluss an einer schmalen Stelle. Dieses Phänomen nennt man den Venturi-Effekt.

Der Italiener Giovanni Battista Venturi (italienischer Physiker; geboren 1746 in Bibbiano; gestorben 1822 in Reggio nell'Emilia) entdeckte, dass sich die Geschwindigkeit eines durch ein Rohr strömenden inkompressiblen Fluids zu einem sich verändernden Rohrquerschnitt umgekehrt proportional verhält. Das heißt, die Geschwindigkeit des Fluids ist dort am größten, wo der Querschnitt des Rohres am engsten ist.

Nach dem Kontinuitätsgesetz für inkompressible Fluide tritt dieselbe Fluidmenge aus jedem beliebigen Rohrabschnitt aus, die in ihn eingeführt worden ist. Die Flüssigkeit *muss* die Engstelle also mit dem gleichen Durchfluss (Menge/Zeit) passieren, wie den Rest des Rohres. Deshalb muss sich die Geschwindigkeit des Fluids (Gas oder Flüssigkeit) zwingend erhöhen.

Wird die Fließgeschwindigkeit – wie beim Experiment mit dem Ball – nur auf einer Seite erhöht (die Luft strömt auf der Oberseite des Balles schneller als auf der Unterseite), entsteht auf der Seite des schnelleren Luftstroms ein Unterdruck, der den Ball nach oben zieht. Messbar wird der Unterdruck durch den Gewichtsverlust des Balles auf der Waage.

Zum Thema Unterdruck gibt es ein berühmtes Experiment aus Magdeburg im Jahr 1654 von Otto von Guericke (deutscher Politiker, Jurist, Naturwissenschaftler und Erfinder; geboren 1602 in Magdeburg; gestorben 1686 in Hamburg): Zwei hohle Kupfer-Halbkugeln wurden nur über eine Gummidichtung zusammengefügt und aus der entstandenen Kugel alle Luft herausgepumpt. Es entstand ein Unterdruck. Insgesamt 16 Pferde sollten die durch den Unterdruck zusammengehaltenen Kugelhälften wieder auseinanderreißen. Es gelang nicht, der Unterdruck war zu stark. Als man wieder Luft hineinpumpte, vielen die Kugelhälften von alleine auseinander.

Der Ball (aktuelle EM-Ball) an dieser Station bietet selbst auch eine Besonderheit: die Noppen. Diese „Gänsehaut“ stabilisiert den Ball in der Luft während des Fluges. Denn vielfachen, kleinen Verwirbelungen machen den Ball stabiler im Flug, während bei einem völlig glatten Ball die entstehende einfache, große Luftverwirbelung die Flugeigenschaften negativ beeinflusst.

Installation zur Trägheit des Balls

Werden die drei Kugeln dieser Installation in Drehung versetzt, kann man Unterschiede beobachten: z.B. torkelt die Kugel mit den Punkten und die weiße Kugel lässt sich nur schwer in eine Rotation versetzen.

Die Kugeln liegen in einer genau passenden Schale. Von unten wird Pressluft in die Schale geblasen. Es entsteht ein hauchdünnes Luftpolster, das die Kugel trägt. Dadurch gibt es (fast) keine Reibung zwischen Kugel und Schale, die Kugel dreht sich sehr lange. Obwohl es keine Reibung gibt, wird Kraft benötigt, um die Kugel in Drehung zu versetzen oder wieder abzubremesen.

Die Eigenschaft von Gegenständen, sich gegen eine Änderung seiner Bewegung zu „wehren“, nennen die Physiker *Trägheit*.

Eine Kugel kann sich um jede Achse drehen, weil sie völlig symmetrisch ist. Ein Buch dagegen dreht sich nicht um alle Drehachsen gleich gut, sondern beginnt zu torkeln. Auch die Kugel mit den Punkten ist nicht völlig symmetrisch, sondern hat zwei Hohlräume. Deshalb ändert sie ihre Drehachse und „torkelt“.

Die weiße Kugel enthält Wasser. Wenn diese Kugel in Drehung versetzt wird, dreht sich das Wasser nicht gleich mit, weil es träge ist. Wurde jedoch auch das Wasser in Drehung versetzt, dreht es sich weiter, auch wenn die Kugel kurz angehalten wird: Das Wasser nimmt dann die Kugel wieder mit.

Literaturempfehlung:

John Wesson. Fußball – Wissenschaft mit Kick. Von der Physik fliegender Bälle und der Statistik des Spielausgangs. Verlag Spektrum, 2006.

Zusätzliche Quellen:

http://de.wikipedia.org/wiki/Otto_von_Guericke

http://de.wikipedia.org/wiki/Str%C3%B6mung_nach_Bernoulli_und_Venturi

Weitere Informationen zur Ausstellung:

ZOOM Kindermuseum

MuseumsQuartier/Museumsplatz 1

1070 Wien

Tel.: (01) 524 79 08

info@kindermuseum.at