

Experiment des Monats

Bahn, Pins und Kugel

Bowling ist die auch bei uns beliebte amerikanische Form des Kegeln. Erfahrene Bowler geben der Kugel einen Drall mit auf den Weg; auch andere Techniken helfen, mit einem Wurf alle Kegel abzuräumen.

Von Jearl Walker

Beim Bowling mit zehn Kegeln bringt man eine schwere Kugel mit Schwung auf eine lange, schmale Bahn; das Ziel ist, Kegel umzuwerfen, die am Ende zu einem Dreieck aufgebaut sind (Bild 1). Die Kugel trifft gewöhnlich einige der zehn Pins (so heißen die Kegel beim Bowling), die dann in einer Kettenreaktion andere Pins umstoßen - entweder direkt oder nachdem sie von den Seitenwänden oder der Rückwand der Bahn abgeprallt sind.

Für jeden abgeräumten Pin gibt es einen Punkt. Fallen alle Pins, hat man einen sogenannten Strike erzielt, und man erhält nicht nur zehn Punkte, sondern auch die Möglichkeit, nach erneutem Aufstellen der Pins weitere Punkte zu machen. In einem Durchgang kann man bis zu 30 Punkte gewinnen. Ist dagegen der erste Wurf kein Strike, so hat man im selben Durchgang nur noch einen Wurf, um die restlichen Pins (den Spare) abzuräumen. Man will also mit jedem ersten Wurf eines Durchgangs einen Strike machen.

Wie sollte man die Kugel werfen, um die Chancen für einen Strike zu erhöhen? Viele Neulinge geben die Kugel ungefähr in der Bahnmitte frei, so daß sie geradlinig auf den vordersten Pin (den Headpin) zuläuft. Dies ist ein Wurf aufs Geratewohl: Der Pin ist so weit entfernt, daß man kaum präzise zielen kann; außerdem scheint das Verhalten der Pins beim Fallen unvorhersagbar.

Dennoch ergibt der Wurf gelegentlich einen Strike.

Ein erfahrener Bowler geht oft auf verlässlichere Weise vor, indem er die Kugel an einer Seite der Bahn auf den Weg schickt. Er zielt dabei nicht direkt auf die Pins, sondern auf Bahnmarkierungen in einer Entfernung von etwa 4,60 Metern (15 Fuß). Zusätzlich gibt man der Kugel im Augenblick der Freigabe einen Seitwärtsdrall (Sidespin). Die Kugel scheint sich zunächst parallel zur Bahnseite zu bewegen, dann aber dem Headpin zuzuwenden und sich ihm unter einem deutlich erkennbaren Winkel zu nähern. Der Zielpunkt, genannt Tasche oder Pocket, liegt rechts oder links der Dreiecksspitze zwischen dem Headpin und dem folgenden Pin.

Erfahrene Spieler bestehen darauf, daß sich die Wahrscheinlichkeit eines Strikes erheblich erhöhe, wenn man der Kugel einen Drall gibt. Vielleicht haben sie recht. Das Spiel hängt jedoch von so vielen veränderlichen Faktoren ab, daß man diese Behauptung nur schwer im Versuch überprüfen kann; ich möchte sie statt dessen auf theoretischem Wege prüfen. Warum erzeugt der Seitwärtsdrall eine gekrümmte Bahn? Macht die Kugel an einem bestimmten Punkt ihrer Bahn einen Haken? Warum würde ein Einlaufen in die Pins unter einem Winkel die Wahrscheinlichkeit eines Strikes erhöhen? Ist der Einlaufwinkel so groß, wie manche Bowler behaupten?

Auf der Bowlingbahn ist eine Foullinie aufgemalt, die der Spieler beim Freigeben der Kugel nicht überschreiten darf. Der Headpin ist 18,30 Meter (60 Fuß) von dieser Linie entfernt. Die hölzernen Pins, von denen jeder 38 Zentimeter (15 Zoll) hoch ist und nicht mehr als 1,63 Kilogramm wiegt, sind ihrer Stellung entsprechend durchnummeriert; der Headpin ist der Einser-Kegel. Der Abstand zwischen den Mitten benachbarter Pins beträgt 30 Zentimeter (ein Fuß). Die Kegel haben einen runden Querschnitt, und ihr größter Durchmesser ist kleiner als 12,7 Zentimeter (fünf Zoll).

Die Kugel, die bis zu 7,25 Kilogramm wiegen kann und deren Durchmesser weniger als knapp 22 Zentimeter betragen muß, hat in der Regel drei Löcher, in die man Daumen und zwei Finger steckt. (Gewichte in der Kugel gleichen den Gewichtsverlust durch die Löcher aus.) Die Oberfläche der Kugel besteht aus Kunststoff oder einer harten Gummiverbindung. Man schwingt die Kugel zunächst nach hinten und dann - zügig auf die Foullinie zugehend - in einer Pendelbewegung nach vorne, wobei die Handfläche unter und gerade hinter der Kugel bleibt. Bei Erreichen der Foullinie bückt man sich und gleitet dann mit einem nach hinten ausgestrecktem Bein vorwärts, so daß die Kugel tief liegt. In dem Augenblick schließlich, in dem die Kugel den tiefsten Punkt des Schwunges erreicht (oder ganz kurze Zeit danach), gibt man sie frei.

Die Bahn, gefertigt aus schmalen Holzbohlen, ist knapp 1,10 Meter (3,5 Fuß) breit und auf beiden Seiten durch eine Rinne begrenzt. Der vordere Teil der Bahn ist mit einem öligen Material behandelt, so daß die Kugel anfangs eher gleitet als rollt. Die Länge des eingöölten Abschnitts ist von Bowlingbahn zu Bowlingbahn unterschiedlich. Auf meiner Lieblingsbowlingbahn, den Tuxedo-Lines im Süden von Cleveland

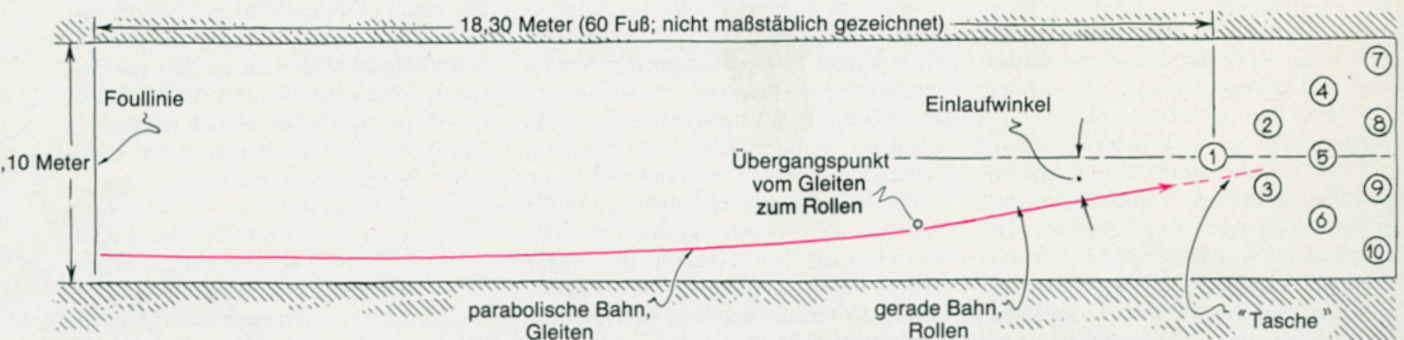


Bild 1: Die Bowlingbahn und der Weg der Kugel.

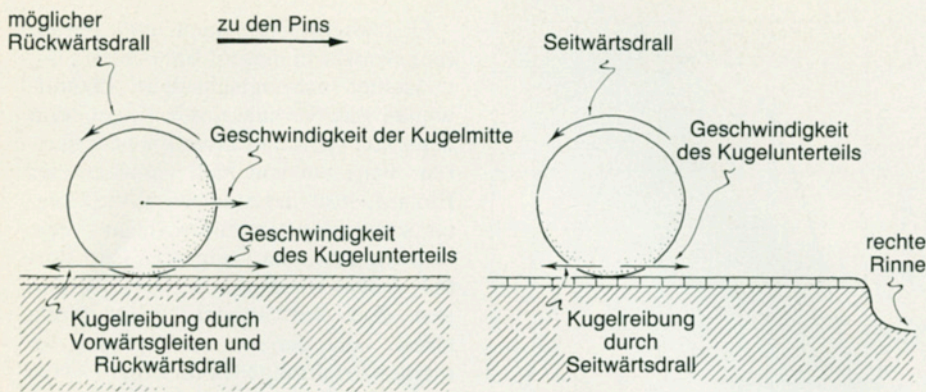


Bild 2: Die Reibung, die auf eine gleitende Kugel wirkt.

(Ohio), ist das erste Drittel der Bahnen geölt, mit Ausnahme schmaler Streifen entlang der Rinnen.

Die Wirkung des Sidespins

Den gekrümmten Weg der Kugel haben Don C. Hopkins und James D. Patterson von der Schule für Bergbau und Technik von Süddakota in Rapid City 1977 erstmals rechnerisch untersucht. Ich werde ihre Ergebnisse etwas vereinfachen und außerdem auf einen Rechts-händer beschränken, der die Kugel genau in Vorwärtsrichtung auf der rechten Bahnseite spielt.

Im Moment des Freigebens zieht man die Finger auf der rechten Seite der Kugel kräftig nach oben, so daß die Kugel einen Drall gegen den Uhrzeigersinn erhält. Während die Kugel die Bahn entlanggleitet, unterliegt sie zwei verschiedenen Reibungskräften (Bild 2): eine ist nach hinten und der Vorwärtsbewegung entgegengerichtet, die andere Kraft nach links und der Drehbewegung entgegengerichtet; erstere verringert die Vorwärtsgeschwindigkeit der Kugel, letztere bewegt sie von der Rinne weg, entlang der sie anfangs gleitet.

Hat der Spieler der Kugel einen Rückwärtsdrall gegeben, erreicht die Kugelunterseite sogar eine größere Vorwärtsgeschwindigkeit als ihr Zentrum. Beim Gleiten der Kugel verlangsamt die nach hinten gerichtete Reibung die Kugelmitte. Gleichzeitig verringert sie die Geschwindigkeit der Kugelunterseite und dreht sie schließlich um. Wenn beide Geschwindigkeiten übereinstimmen, beginnt das Rollen.

Ein ähnliches Wechselspiel von Reibung und Geschwindigkeit verwandelt auch den Drall. Von hinten gesehen, bewegt sich die Kugelunterseite nach rechts, während anfangs die Kugelmitte von der Abwurfrichtung nicht abweicht. Erst wenn die dem Drall entgegenwirkende Reibung greift, beginnt sie auch die Kugelmitte nach links zu

drücken. Ist die Geschwindigkeit der Kugelunterseite nach rechts gleich der Geschwindigkeit der Mitte nach links, beginnt das Rollen der Kugel. Dieser Übergang vollzieht sich gleichzeitig mit dem Übergang zum Rollen in Vorwärtsrichtung.

Während des Gleitens lenkt die zusammengesetzte Reibung die Kugel entlang einer parabolischen Bahn nach links ab, deren Krümmung von den Anfangswerten von Drall und Vorwärtsgeschwindigkeit abhängt. Zum Beispiel verringert eine höhere Geschwindigkeit oder ein kleinerer Drall die Krümmung. In dem Augenblick, in dem das Rollen beginnt, verläßt die Kugel die Parabel auf einer Tangente und bewegt sich dann auf einer Geraden weiter.

Die Rolle des Einlaufwinkels

Um den Winkel dieses Geradeausrollens — also den Einlaufwinkel zu den Pins — zu bestimmen, schätzten Hopkins und Patterson die der Kugel mitgegebene Vorwärtsgeschwindigkeit und den Drall ab. Außerdem wählten sie einen typischen Wert für den Reibungskoeffizienten, der ein Maß für die Oberflächenrauheit und die Schmierung zwischen Kugel und Bahn ist. In allen ihren Berechnungen war der Einlaufwinkel nie größer als 3 Grad. Ein derart kleiner Winkel scheint kaum die Mühe zu rechtfertigen, der Kugel einen Drall zu geben.

Ich fragte mich, ob der Winkel nur deshalb so klein war, weil Hopkins und Patterson vorausgesetzt hatten, daß der Reibungswert auf dem ganzen Weg bis zu den Kegeln gleichbleibend klein sei. Ich spielte mit ihren Gleichungen um herauszufinden, ob das Fehlen der Bahnölung nach einem Drittel des Weges einen größeren Winkel erzeugen würde.

Was ich herausfand, überraschte mich: Der Einlaufwinkel ist unabhängig vom Reibungswert, vielmehr allein durch das anfängliche Verhältnis von

Seitwärtsdrall zu Vorwärtsgeschwindigkeit gegeben. (Rückwärtsdrall spielt eine untergeordnete Rolle.) Bei geringem Seitwärtsdrall oder großer Vorwärtsgeschwindigkeit ist der Winkel winzig. Ist der Drall groß und die Vorwärtsgeschwindigkeit mäßig, kann der Winkel 10 Grad oder sogar etwas mehr betragen.

Obwohl der Reibungswert den Einlaufwinkel der Kugel nicht beeinflusst, bestimmt er, an welcher Stelle der Bahn das Rollen beginnt. Ist der Wert groß, weicht die Kugel früh von ihrer stark gekrümmten Parabelbahn ab und kann so links von der Tasche landen. Ist dagegen der Wert klein, weicht die Kugel erst spät von einer schwach gekrümmten Parabelbahn ab und kann rechts von der Tasche landen. (Ist die Bahn ganz geölt, kann die Kugel sogar die Pins erreichen, noch bevor sie zu rollen beginnt.)

Ein Teil des Geschicks besteht darin herauszufinden, wie man die Kugel entsprechend dem Reibungswert der bespielten Bahn wirft. Mit einigen Übungswürfen ist das nicht getan, da die Kugel bei jedem Wurf Öl in den trockenen Bereich trägt und so den Reibungswert dort verändert.

Insgesamt sind diese Ergebnisse nicht sehr überraschend; tatsächlich stimmen sie mit dem Rat professioneller Bowler genau überein. Läuft die Kugel tief (zu weit rechts) oder hoch (zu weit links) in die Kegelanordnung ein, sollte man durch die Wahl von Wurfgeschwindigkeit und -drall den Einlaufwinkel und den Übergangspunkt zum Rollen ändern. Auch durch Verlegen der Ausgangsstellung auf der Bahnbreite verschiebt man den Kugelweg nach links oder rechts. Auch kann man die Kugel statt genau geradeaus schräg nach links oder rechts werfen, um den Kugelweg um den Abwurfpunkt zu drehen.

Worauf beruht wohl die Behauptung, die Kugel schlage plötzlich einen Haken? Die Kugel kann ihre Richtung plötzlich ändern, wenn sie aus dem geölte Bahnbereich in den trockenen gleitet. Die plötzliche Erhöhung des Reibungswertes verstärkt augenblicklich die Krümmung der Parabelbahn. Der Einlaufwinkel ändert sich durch den Haken jedoch nicht; es wird lediglich ein bestimmter Laufwinkel früher erreicht als ohne Haken.

Bowling auf dem Papier

Erhöht sich tatsächlich die Wahrscheinlichkeit eines Strikes, wenn der Einlaufwinkel einer mit Seitwärtsdrall gespielten Kugel nur etwa 3 Grad beträgt? Um die Frage zu beantworten,

berechnete ich, was die Kugel macht, wenn sie den Einser-Pin getroffen hat.

Zuerst zeichnete ich eine Aufsicht der Pinanordnung. Sie ist ein gleichseitiges Dreieck aus neun kleineren gleichseitigen Dreiecken; alle Winkel betragen also 60 Grad.

Ich vereinfachte den Stoß durch die Annahme, daß er zu kurz für eine nennenswerte Reibung zwischen Kugel und Pin ist, daß er also – wie meistens auch beim Billard elastisch ist und keine Bewegungsenergie verlorenght und der Gesamtimpuls der Gegenstände sich nicht ändert. Die Kugel stellte ich durch einen Kreis mit dem doppelten Durchmesser eines Pinkreises dar.

Zwei Winkel sind in meiner Untersuchung wichtig (Bild4): der Einlaufwinkel der Kugel sowie der Berührungswinkel, jener also zwischen der Vorderseite des Einser-Pins bis zu der Stelle, an der ihn die Kugel berührt. Im Augenblick des Stoßes wird der Pin von einer Kraft bewegt, die entlang der Verbindungslinie zwischen den Mitten von Kugel und Pin gerichtet ist. Daher bewegt sich der Pin in eine Richtung, die von der Längsrichtung der Bahn um den Berührungswinkel abweicht.

Der Stoß lenkt die Kugel aus ihrer ursprünglichen Richtung ab, mithin auch weg von der Richtung des Pins. Der Ablenkwinkel (ich nenne ihn Theta, θ) hängt vom Winkel zwischen dem ursprünglichen Geschwindigkeitsvektor der Kugel und dem auf den Pin übertragenen ab (genannt Phi, Φ). Bild 3 zeigt den Zusammenhang von θ und Φ . Für die Berechnung nahm ich an, daß die Kugel viermal so schwer wie der Pin ist. Man sieht, daß die größte Ablenkung der Kugel etwas mehr als 14 Grad beträgt. (Ich schicke Ihnen gerne eine Kopie der Berechnungen.)

Der Stoß zwischen zwei Pins ist leichter zu verfolgen. Im Augenblick des Stoßes wird der zweite Pin in Richtung einer die Mitten der Pins verbindenden Linie fortgestoßen. Der erste Pin wird senkrecht dazu abgelenkt (vergleiche in Bild 5 die Stöße zwischen den Pins 3 und 9 oder 6 und 10). Die Ausnahme zu einer solchen senkrechten Ablenkung ist der frontale Zusammenstoß, bei dem der erste Pin stehenbleibt.

Ausgerüstet mit meiner Kurve und einem Stapel von Photokopien der Pinanordnung untersuchte ich, was geschieht, wenn die Kugel den Einser-Pin unter verschiedenen Einlauf- und Berührungswinkeln trifft. Jeder, der eine ähnliche Untersuchung vornimmt (sei es wie ich auf dem Papier oder mit einem Heimcomputer), sollte sich jedoch vor Augen halten, daß die Ergebnisse nur Anhaltspunkte sind, weil sie viele praktische Gesichtspunkte vernachlässi-

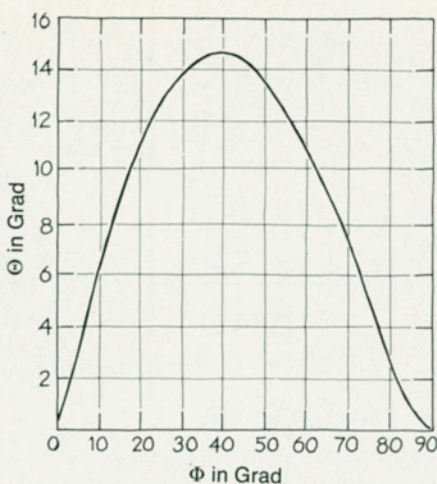


Bild 3: Die Änderung der Kugelablenkung.

gen. Hüpfte beispielsweise ein Pin auf der Bahn, nachdem er getroffen worden ist, kann er durch Reibung abgelenkt werden. Fällt er, kann er eine große Schneise schlagen, insbesondere wenn er sich querlegt. Ein Pin kann sogar mit einem anderem Pin in Bewegung zusammenstoßen. Zusätzlich machen unvermeidliche Zeichenfehler den berechneten Weg eines Pins ungenau, nachdem er einen oder zwei andere getroffen hat.

Um den Weg der Kugel durch die Pinanordnung aufzuzeichnen, bestimmt man zuerst die Ablenkung beim Stoß mit dem Einser-Pin. Dann verfolgt man ihre Bahn, bis sie auf den Dreier-Pin trifft und zeichnet sie an der Stoßstelle. Die Bewegungsrichtung der Pins wird, wie gesagt, durch die jeweilige Verbindungslinie zwischen den Mitten von Pin und Kugel festgelegt, die der Kugel durch den Ablenkwinkel θ .

Der perfekte Strike

Bowling-Bücher beschreiben den perfekten Strike als einen, bei dem die Kugel nur die Pins 1, 3, 5 und 9 trifft. Der Einser-Pin leitet eine Folge von Frontalstößen ein, in der die Pins 2, 4 und 7 fallen, während der Dreier-Pin den Sechser-Pin umlegt, der wiederum Pin 10 abräumt. Von der Kugel getroffen, räumt Pin 5 den Achter-Pin ab. Das Fallen der Pins an der linken Seite der Anordnung legt nahe, daß der Berührungswinkel zwischen 20 und 40 Grad liegen sollte (ideal wären 30 Grad), weil die linke Seitenlinie des Pin-Dreiecks einen Winkel von 30 Grad zur Vorwärtsrichtung bildet. Für einen Berührungswinkel zwischen 20 und 40 Grad berechnete ich, daß der Einser-Pin nach dem Stoß maximal die dreifache Geschwindigkeit der Kugel hat.

Ich beschränkte mich auf Berührungswinkel in diesem Bereich und untersuchte, wie verschiedene Einlaufwinkel das Verhalten der Kugel nach dem Stoß mit dem Einser-Pin beeinflussen. Falls ein von Null verschiedener Einlaufwinkel irgendeinen Vorteil bietet, sollte er sich in einer solchen Untersuchung erweisen. Zeigt sich kein Vorteil, müßte ich daraus entweder schließen, daß Seitwärtsdrall keine Rolle spielt, oder daß – im Gegensatz zu meinen Erfahrungen beim Billard – die geringe Reibung zwischen den Gegenständen bei einem harten Stoß doch irgendeine Rolle spielt.

Ist der Einlaufwinkel null Grad, wird die Kugel in die rechte Seite der Anordnung abgelenkt, wenn der Berührungswinkel 20 bis 25 Grad beträgt (Bild 5). Liegt der Berührungswinkel zwischen 30 und 40 Grad, wird die Ablenkung der Kugel durch die Pins 1 und 3 so stark, daß sie nicht in die Anordnung eindringt. Liegt der Berührungswinkel zwischen 35 und 40 Grad, wird die Kugel sogar jäh abgefälscht – in meinen Berechnungen verläßt sie die Anordnung schon vor Erreichen des Zehner-Pins, der dann stehenbleibt. Bowler beschreiben den Weg der Kugel als seltsames Abprallen von der Anordnung nach rechts, so als wäre die Anordnung eine Wand. Die starke Ablenkung der Kugel ist sehr ungünstig; ein Strike ist wahrscheinlicher, wenn sich die Kugel ihren Weg mitten durch die Anordnung der Pins pflügt.

Bei einem Einlaufwinkel von 3 Grad und Berührungswinkeln zwischen 20 und 40 Grad dringt die Kugel stets in die rechte Seite der Anordnung ein (Bild 6). Obwohl der Einlaufwinkel nur wenig von dem des vorigen Beispiels abweicht, können die Ergebnisse völlig verschieden sein. Der Vorteil des Seitwärtsdralls, der schräges Einlaufen bewirkt, liegt im sicheren Eindringen der Kugel in die Kegelanordnung für alle Berührungswinkel, unter denen die linke Seite der Anordnung lehrbuchgemäß abgeräumt wird.

Bei größeren Einlaufwinkeln ist der Einbruch sogar noch deutlicher. Beträgt der Winkel 10 Grad, entspricht der Strike genau dem Beispiel aus dem Lehrbuch (Bild7). Um einen solchen Strike zu erzielen, sollte die Kugel mit mäßiger Vorwärtsgeschwindigkeit und starkem Seitwärtsdrall gespielt werden; die Würfe werden so lange auf die Bahnbedingungen abgestimmt, bis die Kugel den Einser-Pin mehrmals unter einem Winkel von etwa 30 Grad berührt. Selbst bei kleineren Fehlern ergibt sich aus dem starken Einbruch der Kugel in die Anordnung und den komplizierten Pinbewegungen (die ich vernachlässigt

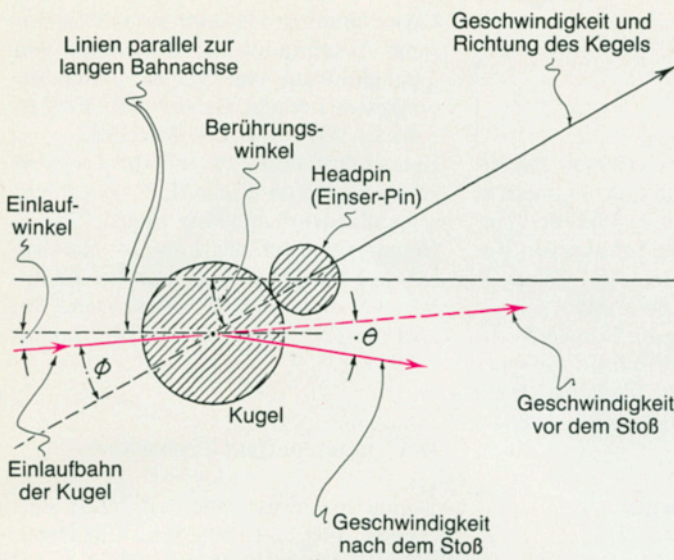


Bild 4: Der Stoß der Kugel mit dem Einser-Pin.

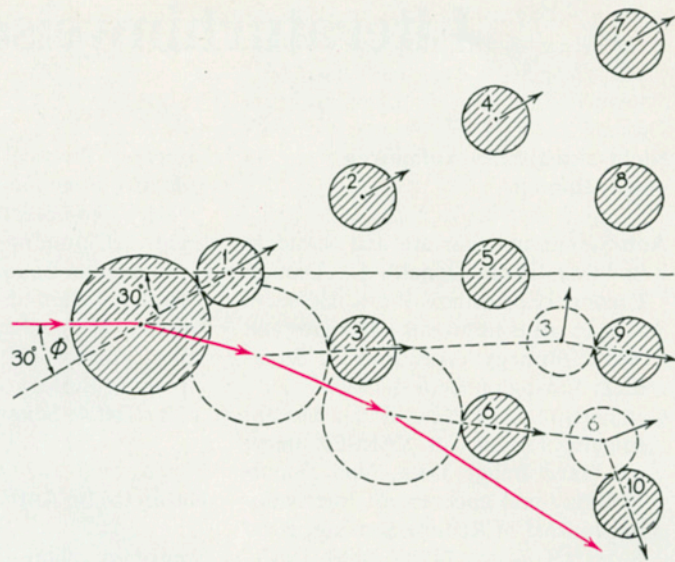


Bild 5: Der Weg der Kugel bei einem Einlaufwinkel von null Grad.

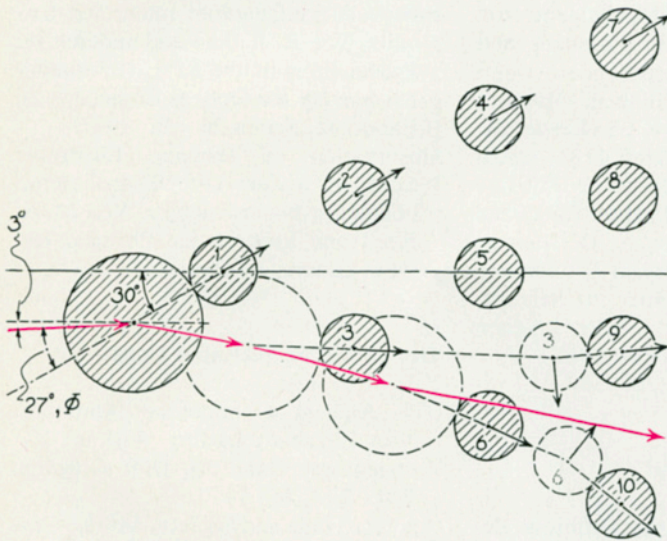


Bild 6: Der Weg der Kugel bei einem Einlaufwinkel von 3 Grad.

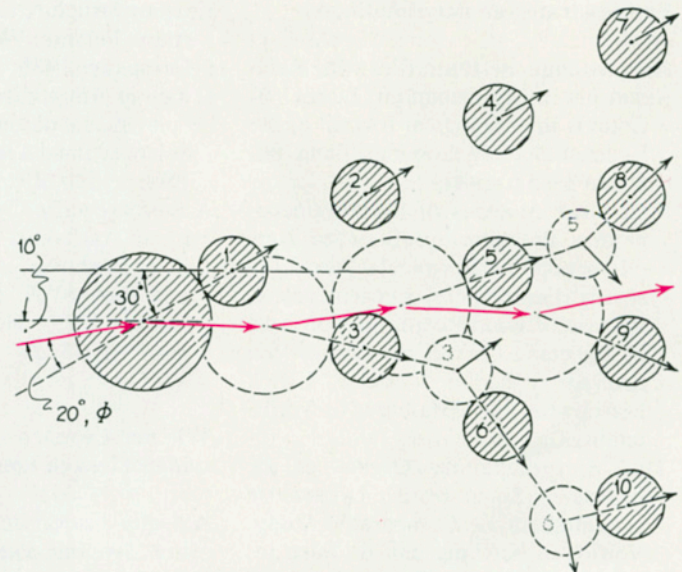


Bild 7: Der Weg für einen Einlaufwinkel von 10 Grad.

haben) mit großer Wahrscheinlichkeit ein Strike.

Beim Verfolgen der Kugelbahn auf dem Papier zeigt sich ein weiterer Grund dafür, daß die Kugel nicht einfach gerade gespielt werden sollte. Trifft die Kugel den Einser-Pin unter einem Berührungswinkel von null Grad, bleiben Pin 7 und 10 wahrscheinlich stehen, während sich die Kugel durch die Mitte der Anordnung pflügt. Es ist nahezu unmöglich, diesen sogenannten 7-10-Split („Spaltung“) mit einem zweiten Wurf abzuräumen.

Einige andere schwierige Spares sind zumindest mit Glück zu bewältigen. Beim Spare mit den Pins 6, 7 und 10 beispielsweise empfehlen Bowling-Bücher, daß die Kugel die rechte Seite des Sechser-Pins treffen sollte, der dadurch auf Pin 7 gestoßen wird; die Kugel

nimmt auf ihrem weiteren Weg den Zehner-Pin mit. In der Tat fand ich heraus, daß bei einem Berührungswinkel von etwa 70 Grad mit Pin 6 der Siebener-Pin sauber abgeräumt wird. Der Stoß mit Pin 6 muß übrigens nicht allzu genau sein, wenn dieser fällt und bei seiner Bewegung über die Bahn einen breiten Weg überstreicht.

Eine Fülle von Material verbleibt für eine Untersuchung des Bowling mit der Papier- und Bleistift-Methode. Man könnte den sogenannten Backup-Wurf (mit umgekehrtem Seitwärtsdrall) untersuchen, bei dem die Kugel hoch in den Einser-Pin einläuft, dann aber zurück in die linke Tasche zwischen Pin 1 und 2 einbiegt. Außerdem kann man Hunderte von Spares berücksichtigen.

Einzelheiten der Kugelbewegung werfen ebenfalls verwirrende Fragen

auf. Die Kugel muß nach dem Stoß mit Pin 1 zunächst ein Stück gleiten, bevor sie wieder zu rollen beginnt. Wie verändert die Reibung zwischen Kugel und Bahn während des Gleitens die Laufrichtung der Kugel? (Ich vermute, daß die Reibung den Ablenkwinkel verkleinert.) Beeinflusst die ungleichförmige Massenverteilung in der Kugel deren Bewegung auf der Bahn? Verhält sich die Kugel durch ihre große Masse wie ein Kreisel, der sich Richtungsänderungen widersetzt?

Zugegeben, die theoretische Behandlung des Bowling ist wegen der vielen in einem wirklichen Spiel auftretenden Veränderlichen nur begrenzt möglich. Die Untersuchung ist dennoch lohnend, wenn sie hilft, auch nur annähernd das Verhalten von Kugel und Pins zu verstehen.