Prüfung von Geldspielgeräten durch die PTB

Die Kontrolle des Zufalls bei Geldspielgeräten

von Dr. Martin Klemt, Berlin

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt legt der Zulassung von Geldspielgeräten ein Prüfverfahren zugrunde, dessen Maßstäbe manchem Antragsteller als streng oder schwer durchschaubar erscheinen. Deshalb soll an dieser Stelle erläutert werden, wie die Prüfung vonstatten geht und wodurch die Methode bestimmt wird.

Der § 33 f der Gewerbeordnung stellt für die Zulassung von Spielgerätebauarten mit Gewinnmöglichkeit, die auf dem Prinzip des Glücksspiels beruhen, folgende Bedingungen: eine nicht zu überschreitende Einsatz- und Gewinnhöhe, eine Mindestauszahlungsquote und ein bestimmtes Verhältnis von Gewinn- zu Verlustspielen. Für Geschicklichkeitsspiele gelten die beiden letzten Bedingungen nicht, weil Treffer- und Gewinnquote hier von der Geschicklichkeit abhängen und deshalb nicht von vornherein festgelegt werden können. Es hat sich herausgestellt, daß für alle Beteiligten (Hersteller, Aufsteller und Spieler) Geldspielgeräte mit Glücksspielcharakter trotz der Einschränkungen durch die Gewerbeordnung und der damit verbundenen Schwierigkeiten bei der Konstruktion der Geräte vorteilhafter sind als Geschicklichkeitsspiele.

Seit dem Jahre 1952 waren alle Geldspielgerätebauarten, deren Zulassung bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt beantragt wurden, Glücksspiele. Als Glücksspiele werden Spiele bezeichnet, deren Ergebnis nicht von den Fähigkeiten des Spielers, sondern vom Zufall abhängt. Erscheinungen, die vom Zufall abhängen, sind unabhängig voneinander und im einzelnen nicht voraussehbar. In einem größeren Komplex gesehen bilden sich aber gewisse voraussehbare numerische Verhältnisse heraus.

Betrachten wir einmal einen Würfel mit den Zahlen 1 bis 6. Bei nur wenigen Würfen werden die Zahlen völlig unvorhersehbar regellos und in unterschiedlicher Häufigkeit fallen. Auf lange Sicht ergibt sich aber bei weiterhin regelloser Aufeinanderfolge, daß die relative Häufigkeit jeder einzelnen Augenzahl sich immer mehr ihrem Grenzwert 1/6 nähert. Dieses Verhalten ist typisch für zufallsartige Massenerscheinungen. Den theoretischen Wert der relativen Häufigkeit auf lange Sicht nennen wir Wahrscheinlichkeit (1).

Der Autor, Oberregierungsrat Dr. Martin Klemt, der uns dankenswerterweise diesen Artikel exklusiv zur Verfügung stellte, leitet das Laboratorium für Spielgeräte und Hygrometrie bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Institut Berlin (unser obenstehendes Foto zeigt eine Ansicht des Instituts).

Auch die Spielergebnisse der Geldspielautomaten sind zufallsartige Massenerscheinungen. Sie treten in regelloser Folge und mit einer relativen Häufigkeit auf, die sich auf lange Sicht einem bestimmten Grenzwert nähert; das heißt sie treten mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auf. Infolgedessen kann der Spiel- und Gewinnplan dieser Geräte mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung aufgestellt werden, wobei gemäß § 33 f der Gewerbeordnung von einer bestimmten Auszahlungsquote und einem bestimmten Verhältnis der Treffer zu den Verlustspielen ausgegangen werden muß. Bei den üblichen Walzen- oder Scheibengeräten, deren Rotationskörper eine bestimmte Anzahl von Merkmalen tragen, wird jede mögliche Merkmalkombination mit gleicher Wahrscheinlichkeit angenommen und jeder Kombination ein fester Wert beigelegt.

Wie dies im einzelnen vonstatten geht, soll an einem konkreten Beispiel eines Dreischeibengerätes gezeigt werden. Jede Spielscheibe trage zehn Merkmale, die durch die Ziffern 0 bis 9 gekennzeichnet sind. Die Spielscheiben werden automatisch in drehende Bewegung versetzt. In einer vorher festgelegten Reihenfolge kommen sie zum Stillstand. Jede Spielscheibe besitzt entsprechend ihrer zehn Merkmale zehn verschiedene Ruhelagen, die untereinander gleichberechtigt sind. Nach Spielende stellt sich eine dreistellige Ziffernkombination ein, die über Gewinn und Verlust entscheidet. Da jede Scheibe zehn Stellungen einnehmen kann, sind $10 \times 10 \times 10 = 1000$ Kombinationen möglich. Sie beginnen mit 0 0 0 und hören mit 9 9 9 auf.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Gewinnwahrscheinlichkeit der einzelnen Kombinationen sowie über die gesamte Treffer- und Auszahlungserwartung.

(Fortsetzung auf Seite 8)

(1) Polya, G. Mathematik und plausibles Schließen, Band 2, Basel 1963

PTB (Fortsetzung von Seite 7)

Beispiel einer Gewinnberechnung für ein Spielgerät

Merkmale	Häufigkeit der Merkmale auf der linken Scheibe	mittl. Scheibe	rechten Scheibe	Gewinnkombination	Wahrscheinlichkeit in 1/1000	Gewinnbetrag DM	Erwartung in 1000 Spielen
0	1 x	1 x	1 x	000	1	1,—	
1	1 x	1 x	1 x	111	1	1,—	
2	1 x	1 x	1 x	222	1	1,—	
3	1 x	1 x	1 x	333	1	1,—	
4	1 x	1 x	1 x	444	1	1,—	10 x 1,— = 10,— DM
5	1 x	1 x	1 x	555	1	1,—	
6	1 x	1 x	1 x	666	1	1,—	
7	1 x	1 x	1 x	777	1	1,—	
8	1 x	1 x	1 x	888	1	1,—	
9	1 x	1 x	1 x	999	1	1,—	
	10 x	10 x	10 x				
				88—	9	0,80	9 x 0,80 = 7,20 DM
				66—	9	0,60	9 x 0,60 = 5,40 DM
				44—	9	0,40	9 x 0,40 = 3,60 DM
				—2—	99	0,20	198 x 0,20 = 39,60 DM
				—0—	99	0,20	
					235		65,80 DM

Zahl der Gewinnkombinationen:
235 = 23,5 %

Zahl der Verlustkombinationen:
765 = 76,5 %

Verhältnis der Gewinnkombinationen zu den Verlustkombinationen gleich 235:765 = 1:3,26

Um festzustellen, ob die in § 11 der Spielverordnung vorgeschriebene Auszahlungsquote und das Verhältnis von Gewinn- zu Verlustspielen eingehalten wird, ist zunächst zu prüfen, ob der Gewinnplan den Möglichkeiten entsprechend errechnet wurde, die durch die Verteilung der Merkmale gegeben sind, und, wenn das der Fall ist, festzustellen, ob das Gerät so arbeitet, daß der Gewinnplan erfüllt wird.

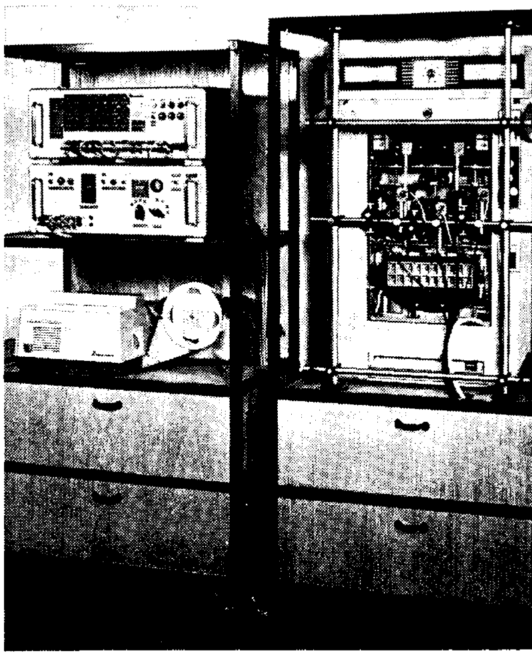
Die Voraussetzung dafür ist, wie bereits gesagt, daß die einzelnen Merkmalkombinationen in regelloser Folge mit gleicher Häufigkeit auftreten.

An einem genügend großen Kollektiv von Spielen wird zunächst geprüft, ob alle Merkmalkombinationen gleich häufig erscheinen. Würden unendlich viele Spiele durchgeführt, so müßte jede der möglichen 1000 Kombinationen bei unserem ursprünglichen Beispiel mit der Wahrscheinlichkeit 1/1000 erscheinen. Wird nur eine begrenzte Anzahl von Versuchen durchgeführt, so werden Abweichungen von diesem theoretisch zu erwartenden Mittelwert auftreten. Die Streuung wird um so größer, je weniger Versuche durchgeführt werden.

Mit Hilfe der Methoden der mathematischen Statistik kann man aus einer Stichprobe Schlüsse ziehen, ob das Mustergerät die dem mathematischen Modell zugrunde gelegten Voraussetzungen erfüllt. Eine statistisch genügend gesicherte Aussage erhält man, wenn die Anzahl der durchzuführenden Versuche mindestens 100mal so groß ist wie die Zahl der möglichen Kombinationen. Bei dem angenommenen Beispiel mit 1000 Kombinationsmöglichkeiten müßten folglich 100 000 Spiele durchgeführt werden. Bei einer vorgeschriebenen Spieldauer von mindestens 15 Sekunden zuzüglich einer weiteren Sekunde bei automatischer Aufzeichnung der Meßwerte kommt man bei 100 000 Spielen auf einen Zeitbedarf von etwa 450 Stunden. Dazu käme noch die Zeit für die Auswertung der Ergebnisse. Nach diesem Verfahren wäre es kaum möglich, in annehmbarer Zeit eine Prüfung durchzuführen. Deshalb wird das eben geschilderte Verfahren auf jede Spielscheibe für sich angewendet. Dies ist möglich, wenn durch Zeitdifferenzen beim Anlaufen und Anhalten der Rotationskörper keine systematischen Beziehungen zwischen ihnen bestehen.

Wenn, wie in dem angeführten Beispiel, jede Scheibe zehn Merkmale trägt, wären jetzt nur noch 1000 Spiele notwendig, und die Zeit für die Aufzeichnung betrüge etwa $4^1/_2$ Stunden. In der Praxis wickelt sich das Verfahren so ab, daß die einzelnen Felder jeder Spielscheibe fortlaufend mit den Nummern 0, 1, 2, 3 usw. gekennzeichnet werden und das Ergebnis jedes einzelnen Spieles aufgeschrieben wird. Am Ende der Versuchsreihe wird für jede Spielscheibe die Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Felder ausgezählt. Bei einem einwandfrei arbeitenden Spielgerät, bei dem am Spielende die Scheiben zufallsbedingte Stellungen einnehmen, wird die Häufigkeit der einzelnen Nummernfelder in der Nähe des Erwartungswertes liegen. Er läßt sich berechnen, indem die Anzahl der Spiele durch die Anzahl der Felder dividiert wird. Bei einem Spielgerät mit zehn Feldern beträgt bei 1000 Spielen für jedes Feld der Erwartungswert 100. Welche Abweichungen von dem Erwartungswert noch zulässig sind, soll im folgenden erläutert werden.

In der Abbildung 1 ist eine Treppenkurve gezeichnet, die die Häufigkeitsverteilung angibt, die theoretisch bei



Ein Spielgerät auf dem „Prüfstand"

einem Kollektiv von n = 1000 Spielen und der Wahrscheinlichkeit von p = 1/10 für das Erscheinen eines bestimmten Merkmals zu erwarten wäre. Die Werte wurden dem Tabellenwerk (2) entnommen.

Auf der waagerechten Achse sind die Häufigkeitswerte, die bei 1000 Spielen auftreten können (in Bereiche zu drei Werten zusammengefaßt), aufgetragen. Auf der senkrechten Achse ist die zugehörige Wahrscheinlichkeit angegeben. Zum Beispiel tritt ein bestimmtes Merk-

(2) *Tables of the cumulative binomial probality distribution, Cambridge, Massachusetts: Harvard University*

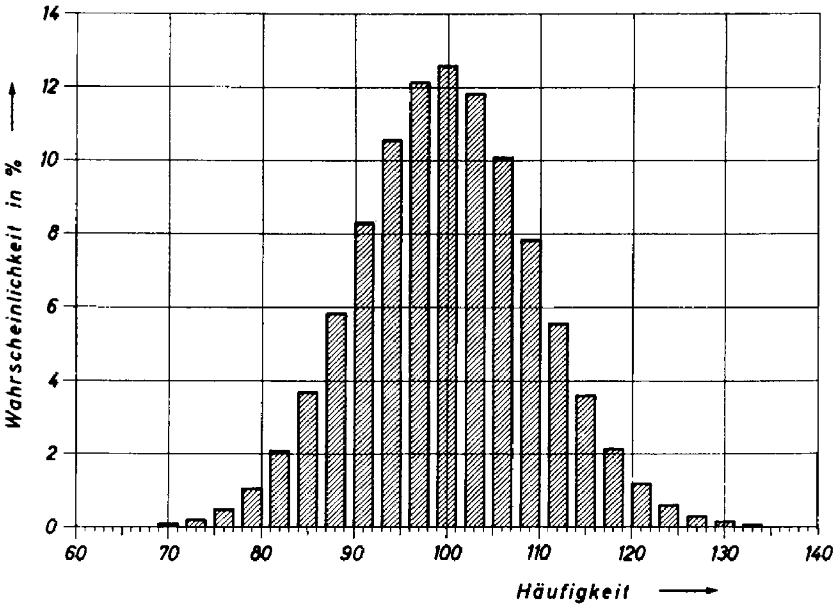


Abb. 1 Häufigkeitsverteilung für das Erscheinen eines Merkmals (p = 1/10) in n = 1000 Spielen

mal in 1000 Spielen 99- bis 101mal mit einer Wahrscheinlichkeit von 12,6 Prozent auf. Auf Grund dieser theoretischen Verteilungskurve ist man in der Lage Toleranzgrenzen zu setzen, um beurteilen zu können, ob eine beobachtete Abweichung innerhalb der natürlichen Streuung liegt, oder außergewöhnlich ist. Je größer man den Bereich wählt, in dem das Merkmal auftreten kann — diesen Bereich nennt man Vertrauensintervall — desto geringer wird die Überschreitungswahrscheinlichkeit; das ist die Wahrscheinlichkeit, daß ein Merkmal durch Zufall außerhalb liegt. Vertrauensintervall und Überschreitungswahrscheinlichkeit ergänzen sich stets zu 100 Prozent.

In unserem Fall sind in dem Vertrauensintervall von 73 bis 129 99,73 Prozent aller Werte zu erwarten; die Überschreitungswahrscheinlichkeit beträgt folglich 0,27 Prozent. Man spricht in diesem Fall von einer statistischen Sicherheit von 99,73 Prozent. Bei dieser statistischen Sicherheit kommen Abweichungen so selten (0,27 Prozent) durch Zufall allein zustande, daß anzunehmen ist, eine festgestellte Abweichung beruhe auf einem systematischen Fehler. Eine Abweichung, die mit einer statistischen Sicherheit von mehr als 99 Prozent erschlossen ist, gilt allgemein als nicht mehr zufällig, sie ist signifikant.

Wenn mit dem eben geschilderten Verfahren festgestellt ist, ob die einzelnen Merkmale auf jeder Spielscheibe mit gleicher Häufigkeit auftreten, fehlt noch der Nachweis der Regellosigkeit.

An einem Beispiel soll dies näher erläutert werden. Angenommen, die folgenden Spielergebnisse sind aufgetreten:

linke Walze	mittlere Walze	rechte Walze
1	0	4
4	1	9
9	6	0
0	9	1
1	2	6
6	7	9
9	8	2
2	9	7
7	4	8
8	7	9
9	0	4
4	5	7
7	6	0
0	7	5
5	2	6
6	5	7
7	8	2
2	3	5
5	4	8
8	5	3
3	0	4
4	3	5
5	6	0
0	1	3
3	2	6
6	3	1
1	8	2
2	1	3
3	4	8
8	9	1
1	0	4
4	1	9

Wie man leicht feststellt, kommen hier sämtliche Merkmale auf allen drei Spielscheiben in gleicher Häufigkeit vor. Die einzelnen Merkmale folgen aber nicht regellos aufeinander, sondern es besteht eine starre Abhängigkeit. Nach 30 Spielen wiederholen sich die Zahlenfolgen. Von den möglichen 1000 Kombinationen, die bei der Berechnung des Gewinnplanes zugrunde gelegt wurden, werden auf diese Weise dem Spieler tatsächlich nur 30 Kombinationen angeboten. Vergleicht man diese Kombinationen mit dem im Gewinnplan angegebenen, so fallen die Gewinnklassen 1,—; 0,80; 0,60; 0,40 DM fort. Lediglich 0,20-DM-Gewinne werden angezeigt. Die ursprünglich errechnete Auszahlungserwartung fällt von 65,8 Prozent auf 39,6 Prozent zurück. Die Treffererwartung sinkt von 23,5 Prozent auf 19,8 Prozent. Aus dem Spielgerät, das dem Gewinnplan nach die gesetzlichen Bedingungen eingehalten hat, wird nun ein nichtzulassungsfähiges Gerät, obgleich alle einzelnen Merkmale mit gleicher Häufigkeit erscheinen.

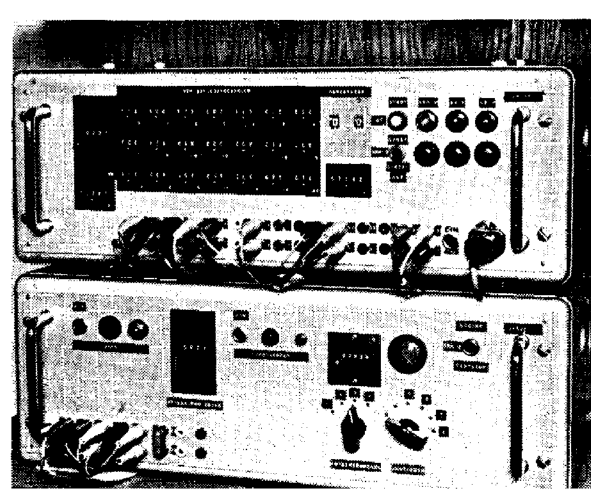
Dieses anschauliche Beispiel zeigt, wie wichtig es ist, Periodizitäten zu vermeiden. Bei den neuesten Gerätebauarten wirken sich Perioden besonders stark aus, indem bestimmte Gewinnkombinationen, die Serien mit erhöhter Gewinnerwartung auslösen und naturgemäß selten erscheinen, sich häufen oder ganz ausfallen können. Hinzu kommt, daß solche unbeabsichtigten Regelmäßigkeiten sich bei jedem Seriengerät anders auswirken, so daß die einzelnen Geräte einer Bauart unterschiedliche Auszahlungs- und Gewinnquoten aufweisen würden.

In der einschlägigen Literatur sind zahlreiche Testmethoden veröffentlicht worden, die dazu dienen, derartige Gesetzmäßigkeiten, insbesondere dann, wenn sie nicht so leicht erkennbar sind, festzustellen.

In der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt wurde der im folgenden beschriebene Test, der die Unabhängigkeit aufeinanderfolgender Zahlen untersucht, entwickelt. Wenn die einzelnen Merkmale auf jeder Spielscheibe mit gleicher Häufigkeit und regellos erscheinen, so muß auf jedes

(Fortsetzung auf Seite 10)

Die Prüfapparatur



in einem Spiel erschienene Merkmal im folgenden Spiel wiederum jedes Merkmal erscheinen können. Zum Beispiel, wenn im ersten Spiel die 0 erschienen ist, so kann im nächsten Spiel jedes Merkmal von 0 bis 9 erscheinen, das heißt die Spielscheibe wird nach einer Anzahl von vollen Umläufen im Endergebnis 0 bis 9 Schritte gegenüber der vorherigen Stellung zurücklegen. Wird eine genügend lange Versuchsreihe durchgeführt, so müssen alle zehn möglichen Schritte mit gleicher Häufigkeit und regellos auftreten.

Wie die praktische Auswertung vorgenommen wird, soll an Hand der Zahlenfolge der linken Walze (a) des folgenden Beispieles erläutert werden.

a	b	c
Δ^0	Δ^1	Δ^2
1		
4	3	
9	5	2
0	1	6
1	1	0
6	5	4
9	3	8
2	3	0
7	5	2
8	1	6
9	1	0
4	5	4
7	3	8
0	3	0
5	5	2
6	1	6
7	1	0
2	5	4
5	3	8
8	3	0
3	5	2
4	1	6
5	1	0
0	5	4
3	3	8
6	3	0
1	5	2
2	1	6
3	1	0
8	5	4

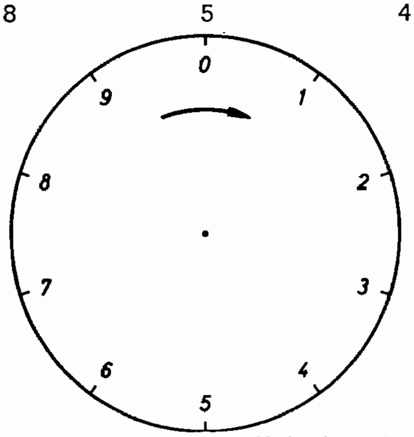


Abb. 2 Spielscheibe mit den Merkmalen 0—9

Durch Auszählen wird festgestellt, wieviel Schritte die Spielscheibe gegenüber dem letzten Spiel zurückgelegt hat. War im ersten Spiel zum Beispiel eine 1 erschienen und im zweiten Spiel eine 4, so zählt man auf der Spielscheibe Abb. 2 im Uhrzeigersinn gerechnet ab, wieviel Schritte von Stellung 1 nach Stellung 4 notwendig sind. Man erhält somit die Schrittzahl drei. Von 4 nach 9 wären es fünf Schritte und von 9 nach 0 ein Schritt usw. Man erhält auf diese Weise eine neue Zahlenfolge (b), die durch Differenzbildung aus der Zahlenfolge (a) entstanden ist. Die Anzahl der Glieder von (b) ist um 1 kleiner als die Anzahl der Glieder von (a). Nachdem die Häufigkeit für jede Schrittzahl registriert wurde, wird die Regellosigkeit der Schrittzahlen festgestellt, das heißt, nach jedem Schritt muß im folgenden Spiel wiederum jeder Schritt möglich sein. Man bildet auf die gleiche Weise wiederum die Differenzfolge aus (b) und erhält eine neue Folge (c), die die Schrittänderungen darstellt. Die Anzahl der Glieder dieser Folge (c) ist um 1 kleiner als die Anzahl der Glieder von (b). Die Reihen (b) und (c) werden als Differenzreihen 1. und 2. Ordnung bezeichnet. Man verwendet für sie die Symbole Δ^1 und Δ^2. Die Ausgangsreihe (a) wird mit Δ^0 bezeichnet. Genauso wie vorher die Häufigkeiten der Merkmale 0 bis 9 von Δ^0 ausgezählt wurden, müssen nun die Häufigkeiten der Schritte (Δ^1) und der Schrittänderungen (Δ^2) ausgezählt werden. Für das angegebene Beispiel der 30 Spiele erhält man die folgenden Häufigkeitswerte:

	Häufigkeit		
Merkmal	Δ^0	Δ^1	Δ^2
0	3 x	—	9 x
1	3 x	10	—
2	3 x	—	5 x
3	3 x	9	—
4	3 x	—	5 x
5	3 x	10	—
6	3 x	—	5 x
7	3 x	—	—
8	3 x	—	4 x
9	3 x	—	—
	30 x	29 x	28 x

In 1000 Spielen würde bei dieser sich wiederholenden Folge im Endergebnis zu erwarten sein:

Merkmal	Δ^0	Δ^1	Δ^2
0	100	—	332
1	101	333	—
2	100	—	167
3	99	333	—
4	100	—	166
5	99	333	—
6	100	—	167
7	100	—	—
8	100	—	166
9	101	—	—
	1000 x	999 x	998 x

Bei einem zufallsmäßig arbeitenden Gerät sieht das Ergebnis von 1000 Spielen dagegen zum Beispiel folgendermaßen aus:

Merkmal	Δ^0	Δ^1	Δ^2
0	117	106	93
1	97	94	106
2	103	91	110
3	91	81	100
4	110	121	107
5	80	91	98
6	92	109	100
7	103	94	96
8	115	118	94
9	92	94	94
	1000 x	999 x	998 x

Die Forderung auf Regellosigkeit ist erfüllt, wenn in allen Differenzfolgen höherer Ordnung, die Differenzen mit gleicher Wahrscheinlichkeit auftreten.

Die dargestellte Methode bietet keinerlei Schwierigkeiten. Ohne mathematische Hilfsmittel, lediglich durch Auszählen der Häufigkeit der einzelnen Merkmale und der Schritte in den gebildeten Folgen, läßt sich sofort feststellen, ob ein Spielgerät zufallsmäßig und damit im Sinne der gegebenen Bedingungen arbeitet.*)

Die technische Lösung des Problems des zufallsartigen Spielablaufes ist der Spielgeräteindustrie durch Zeitverzögerungen im Lauf der einzelnen Rotationskörper gelungen, so daß zur Zeit einwandfreie Zufallsspiele im Verkehr sind. Eine andere Möglichkeit, den gesetzlichen Forderungen gerecht zu werden, wäre die Programmierung der Spiele nach einem vorgegebenen Gewinnplan. Dabei müßte jedoch für den Uneingeweihten der Anschein des zufälligen Ablaufes gewahrt bleiben, denn gerade das macht den Reiz der Spiele aus, daß Gewinn oder Verlust nicht vorauszusehen sind.

*) *An der Ausarbeitung des Verfahrens hat Herr O. Steiner einen dankenswerten Anteil*