

(Aus dem Gerichtsmedizinischen Institut der Peter Pázmány-Universität Budapest.  
Vorstand: *Franz Orsós*, o. ö. Prof.)

## Über den Mechanismus des Überfahrens.

Von

Anton Kassai, Univ.-Adjunkt.

Mit 5 Textabbildungen.

(Eingegangen am 19. Januar 1943.)

Es ist nicht selten zu beobachten, daß der Abschnitt des Überfahrens, in dem das Rad über den Körper hinweggeht, auch unter scheinbar gleichen Umständen sich nicht in gleicher Weise abspielt. In manchen Fällen geht nämlich das Rad glatt über den Körper hinweg, in anderen erst nach dem Weiterschieben oder Wälzen des Körpers bzw. überhaupt nicht, indem ihn das Rad nach der Seite zu gewissermaßen von sich wegschiebt. Ich habe im Schrifttum keine Belege gefunden, die die Ursachen der unterschiedlichen Erscheinungen in diesem Abschnitte des Überfahrens näher beleuchten. Im nachstehenden möchte ich zur Analyse dieser Vorgänge einige Beiträge liefern.

Da der zwischen Rad und Körper sich abspielende Mechanismus die Resultante des Aufeinanderwirkens dieser beiden Faktoren ist, muß ich deren mechanische Rolle gesondert beleuchten.

Zur Bestimmung der Rolle des Rades führen folgende Überlegungen. Ein in spitzer Zykloide sich bewegendes Punkt des Rades, der mit dem Hindernis bei  $B$  zuerst in Berührung kommt, übt auf es in der Richtung seiner Tangente ( $T$ ) einen Druck ( $P$ ) aus (Abb. 1). Dieser zerfällt jedoch in 2 Komponenten, von denen die horizontale ( $b$ ) den Gegenstand in der Rollrichtung des Rades zu schieben bestrebt ist, wogegen die vertikale Komponente ( $a$ ) den Körper an den Boden drückt. Die später zu erörternden sonstigen Umstände vorerst unberücksichtigt lassend und lediglich die Wirkung der beiden Komponenten betrachtend, folgt aus der Abbildung, daß der Gegenstand nach vorn in der Bewegungsrichtung des Rades geschoben oder noch stärker zu Boden gedrückt wird, je nachdem die eine oder die andere Komponente größer ist. Da zu jedem Punkte der spitzen Zykloide eine anders gerichtete Tangente gehört, wird auch das Verhältnis der beiden Komponenten zueinander an jedem Punkte der Zykloide verschieden sein; in den unterschiedlichen Höhen wird nämlich in Abhängigkeit vom Berührungswinkel ( $\alpha$ ) einmal die horizontale, das andere Mal die vertikale Komponente größer. Auf der Zykloidenspitze schließt die Tangente einen Winkel von  $90^\circ$

mit der waagerechten ein, mit dem Größerwerden des Abstandes der Zykloidenpunkte vom Boden verringert sich stufenweise der  $\alpha$ -Wert und wird schließlich auf dem höchsten Zykloidenpunkte (von  $2r$ ) gleich Null. Mit dieser Veränderung des  $\alpha$ -Wertes ändert sich zugleich auch die Größe der beiden Komponenten in dem Sinne, daß beim Größerwerden des Winkels die Wirkung der vertikalen, nach unten drückenden Komponente stufenweise wächst, wogegen die der horizontalen, vorwärts schiebenden dauernd geringer wird und umgekehrt. Dieser Zusammenhang kann auch so gefaßt werden, daß der Winkel  $\alpha$ , da er sich

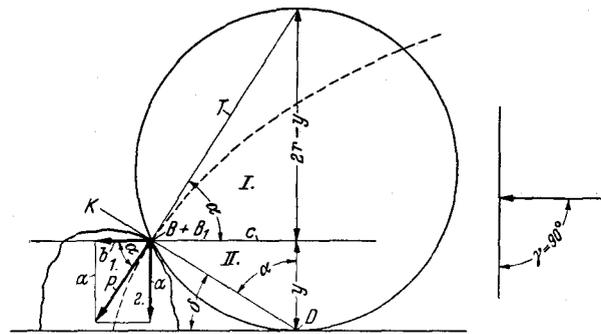


Abb. 1.

je nach dem Verhältnis der beiden Komponenten zueinander dauernd ändert, Funktion ihres Verhältnisses zueinander ist, und zwar aus Dreieck I:  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}$ .

Der Berührungswinkel erreicht mit  $90^\circ$  seinen höchsten Wert auf der Zykloidenpitze. Ebenda erlangt auch die zu Boden drückende Komponente ihren höchsten Wert, wobei indessen gleichzeitig die in der Rollrichtung des Rades schiebende Wirkung der horizontalen Komponente aufhört. Auf dem höchsten Punkte der Zykloide wieder gelangt gerade die Schiebewirkung zur Kulmination, wogegen die nach unten drückende auf Null fällt. Die Wahrscheinlichkeit, daß das Rad über den Körper hinweggeht, wird also um so größer, je näher der mit dem Körper zuerst in Berührung geratende Punkt des Rades der Zykloidenpitze oder — was das gleiche bedeutet — dem Boden liegt. Das heißt, *die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens steht in geradem Verhältnis zur Größe des Berührungswinkels ( $\alpha$ ), genauer zur Tangentenfunktion des Winkels, der von der Horizontalen und der zu dem ersten Berührungspunkte der Zykloide mit dem Gegenstande gehörenden Tangente (im Fall  $\gamma = 90^\circ$  ist) eingeschlossen wird.* Die Erkennung dieses Zusammenhanges ist geeignet, als Ausgangspunkt weiterer Feststellungen zu dienen, insbesondere auch die Rolle des erhobenen Abstandes von Rad-

halbdurchmesser und Körper vom Boden bei der Wahrscheinlichkeit des Überfahrens in das richtige Licht zu stellen.

Wir bezeichnen die Höhe des mit dem Rade zuerst in Berührung kommenden Punktes des Gegenstandes mit  $y$ , den Halbdurchmesser des Rades mit  $r$  (Abb. 1). Auf Grund des Tangentenkonstruktionsprinzips der spitzen Zykloide können die Zusammenhänge wie folgt abgeleitet

werden: aus Dreieck I  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{2r - y}{c}$ , aus Dreieck II  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{c}{y}$ , also  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{2r - y}{c} = \frac{c}{y}$ . Nach dem Erheben ins Quadrat:  $\operatorname{tg}^2 \alpha = \frac{(2r - y)c}{c \cdot y}$ ;

nach Quadratwurzelnziehen und Kürzung mit  $c$ :  $\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{\frac{2r - y}{y}}$   
 $= \sqrt{\frac{2r}{y} - 1}$ . Nach den Berechnungen steht also die Wahrscheinlich-

keit des Überfahrenwerdens des Körpers vom Rade in geradem Verhältnis zur Größe des Radhalbdurchmessers und in umgekehrten Verhältnis zur Höhe des Gegenstandes, genauer zur Quadratwurzel derer Quotienten.

Also: je größer das Rad und kleiner die Höhe des Gegenstandes über dem Boden, um so leichter geht das Fahrzeug über das Hindernis hinweg. Beim Einsetzen beliebig gewählter Werte in die Formel ist mathematisch beweisbar, daß  $\operatorname{tg} \alpha = 0$  ist, wenn die vom Boden gemessene Höhe eines Gegenstandes die Größe des Raddurchmessers erreicht, d. h. auch die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens wird gleich Null. Im Falle der Lage eines Körpers in Höhe  $r$ , also in Achsenhöhe des Fahrzeuges, ist  $\operatorname{tg} \alpha = 1$ , d. h. der Berührungswinkel hat  $45^\circ$ , somit werden die den Gegenstand zu Boden drückende vertikale bzw. ihn in der Fahrtrichtung weiterzubewegen bestrebte horizontale Kraftkomponente einander gleich. In diesem Falle obsiegt die Komponente, die einen geringeren Widerstand zu überwinden hat. In der Praxis wird fast immer die Wirkung der Horizontalkomponente die Oberhand gewinnen, weil ihr so gut wie niemals ein Hindernis entgegenarbeitet, wie es der Boden mit Bezug auf die nach unten gerichtete Komponente darstellt. Im Falle der Wertgleichheit von  $y$  und  $r$ , wenn sich beiden Komponenten ein unüberwindliches Hindernis entgegenstellt, z. B. der Gegenstand unbeweglich fixiert ist, tritt Gleichgewicht ein, das Rad vermag nicht weiterzurollen, das Fahrzeug kommt zu Stillstand; ist jedoch der Antrieb genügend stark das Rad weiter in Bewegung zu halten, dann wird sich dieses auf der Stelle drehen und den Gegenstand scheuern. Dies vermöchte jedoch nur im Falle absolut starrer Körper, die es nicht gibt, zu erfolgen, und somit treten hier als für die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens arbeitende Faktoren die Beschaffenheit des Bodens, des zu überfahrenden Gegenstandes und des überfahrenden Rades, insbesondere deren Zusammendrückbarkeit, in Erscheinung. Es ist leicht vorstellbar,

daß der Wert von  $y$  kleiner wird als der von  $r$ , wenn der Gegenstand in der Richtung der gegen den Boden drückenden Wirkung zusammengepreßt wird oder der Boden einsinkt, bzw. beide zugleich eine solche Veränderung erfahren; dann wird das Gleichgewicht zugunsten der vertikalen Kraftkomponente gestört, und das Rad geht über den Gegenstand hinweg. Dies aber vermag um so leichter einzutreten, je größer die Zusammendrückbarkeit von Boden und Gegenstand ist. In diesem Sinne erleichtert kann das Überfahrenwerden durch die Deformierbarkeit des Rades, z. B. infolge Zusammendrückbarkeit eines Gummireifens, und zwar laut obigen Darlegungen auf die Weise, daß vermöge der Zusammendrückbarkeit des Rades der Berührungswinkel größer wird und dementsprechend der Wert von  $\tan \alpha$ . Die erwähnte Eigenschaft von Boden, Gegenstand und Rad vermag daher — gleich wie in gewissem Grade auch die das Maß der Reibung zwischen Rad und Gegenstand steigernden Faktoren — als der die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens bestimmende Faktor in Betracht zu kommen. Diese sich aus der Zusammendrückbarkeit des menschlichen Körpers ergebende Eigenart kann ihre Wirkung besonders an solchen Körperteilen ausüben, die von Knochen weniger unterpolstert und deshalb leicht zusammendrückbar sind, wie z. B. der zwischen den Darmbeinkämmen und den Rippenbögen befindliche Rumpfabschnitt und die von Weichteilen reichlich bedeckten Extremitäten. Auf Grund der Überlegung des oben Gesagten ergibt sich von selbst die Schlußfolgerung, daß in Fällen, in denen der Wert von  $y$  größer als der von  $r$  ist, die Möglichkeit des Hinweggehens der Räder über den Körper aufhört, dies auch wenn alle übrigen Faktoren sonst am günstigsten beschaffen sind.

Aus obigem geht auch hervor, daß bei der Wahrscheinlichkeit des Überfahrens weder die Breite der Radlauffläche, noch die Laufgeschwindigkeit des Rades, also des Fahrzeuges, eine Rolle spielt. Die Änderung dieser Faktoren beeinflusst nämlich in keiner Weise den Wert der Komponenten  $b$  und  $a$ . Zwecks Vermeidung eines Mißverständnisses muß ich in betreff der Geschwindigkeit des Fahrzeuges erwähnen, daß der mit der Geschwindigkeit wachsende Bewegungsimpuls nicht unter die Faktoren zu reihen ist, die jetzt behandelt werden. Der Bewegungsimpuls spielt nämlich nur darin eine Rolle, daß die das Fahrzeug antreibende Kraft das gleiche Hindernis mit geringerer Energie zu überwinden vermag. Diese Frage gehört jedoch auf ein anderes Blatt. Die Geschwindigkeitsfrage werde ich noch beim Abhandeln der Faktoren berühren, die sich seitens des die Fahrzeuggeschwindigkeit übernehmenden Gegenstandes beim Weitergleiten ergeben und die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens beeinflussen.

Im vorstehenden war bereits die Zusammendrückbarkeit des Körpers als ein Faktor erwähnt, der die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens

beeinflusst. Der sich seitens des Körpers ergebende hauptsächlichste Faktor ist indessen mit der Eigenschaft des Körpers — die sich übrigens auch seitens des Bodens äußert — in Verbindung zu bringen, die im Gesetze der gleitenden Reibung den Wert des Reibungskoeffizienten bestimmt. Nach diesem Gesetze ist die Reibung  $F = f \cdot Q$ , d. h. die Reibung steht in geradem Verhältnis zur Belastung und dem Reibungskoeffizienten  $f$ . Dieser drückt aus, welchen Teilbetrag der Belastung die Reibung ausmacht. Nach diesem Gesetze ist die *Wahrscheinlichkeit des Überfahrens seitens des Rades* — soweit das Überfahren überhaupt erfolgen kann — *um so größer, je größer das Gewicht des überfahrenen Körpers und sein Reibungskoeffizient sind*, also je größer sein Widerstand gegen das Weitergleiten ist. Die Geschwindigkeit des Weiterbewegens, des Rutschens des Körpers und mittelbar die Geschwindigkeit des Fahrzeuges spielen demnach als die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens beeinflussende Faktoren auch von dieser Seite gesehen keine Rolle. Der Reibungskoeffizient kann auch im Falle ein und desselben Gegenstandes sehr verschiedene Werte annehmen, je nach der stofflichen Natur und Oberfläche der sich reibenden Materialien, *also nach der Beschaffenheit des Bodens und der den Körper bedeckenden Kleidung*. Bezüglich des Wertes dieser den  $f$ -Wert weitgehend beeinflussenden, seitens des Bodens, besonders aber der Kleidung sich ergebenden Faktoren besitzen wir mangels einschlägiger Versuche keine Belege, und auch die annähernde Schätzung ihrer Werte wäre lediglich auf experimentellem Wege möglich. Seitens des Bodens vermag als den  $f$ -Wert beeinflussender Faktor eine Rolle zu spielen nebst dessen Glätte auch seine trockene oder feuchte, schmutzige usw. Beschaffenheit. Bekanntlich wird die Reibung durch geeignete Schmiermittel in hohem Grade herabgemindert. Indem nun die feuchte, schlüpfrige Beschaffenheit des Bodens die Funktion eines Schmiermittels ausübt, ist es verständlich, daß diese Eigenschaften des Bodens, das Maß der Reibung verringern, dem Weitergleiten der Gegenstände Vorschub leisten und somit gegen die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens arbeiten. Diese Überlegung steht im Einklang mit der Beobachtung *Reuters* (1911), daß überfahrene Individuen bei Regenwetter und auf glattem Boden besonders weit mitgeschleift werden.

Allein der menschliche Körper vermag beim Überfahrenwerden nicht nur eine gleitende Reibung auszuüben, vielmehr kann er zufolge seiner mehr oder minder zylindrischen Form auf Wirkung des Rades hin auch weitergerollt werden. Das Maß der rollenden Reibung aber ist bedeutend geringer als das der gleitenden Reibung. Im Falle rollender Reibung ist die Reibung  $G = \varphi \cdot \frac{Q}{R}$ . Auf das Maß der Reibung ist also in gewissem Grade auch der Halbdurchmesser ( $R$ ) des zylindrischen

Körpers von Einfluß. Bei der rollenden Reibung ergibt sich gegenüber gleitender Reibung der größte Unterschied dadurch, daß bei jener der Wert des Rollkoeffizienten ( $\varphi$ ) erheblich geringer ist, woraus folgt, daß zum Weiterrollen eines zylindrischen Gegenstandes eine beträchtlich geringere Kraft erforderlich ist als beim Weiterschieben. *Der menschliche Körper vermag also zufolge seiner zylindrischen Gestalt* u. a. auch von diesem Gesichtspunkte aus die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens zu beeinflussen. Der Wert der rollenden Reibung wird gleich dem der gleitenden Reibung ebenfalls berührt von der Kleidungsbeschaffenheit, der Härte des weitergerollten Gegenstandes und des Bodens, sowie den Unebenheiten des letzteren.

Die Eigenheiten des menschlichen Körpers können jedoch bei dem sich zwischen ihm und dem Rade abspielenden Vorgange auch von einer anderen Seite her zu einer Rolle gelangen. Bekanntlich bestehen zwischen den verschiedenen, namentlich den frontalen und den sagittalen Durchmessern des Körpers Unterschiede, denen zufolge der Rumpf als abgeflacht zylindrischer Gegenstand betrachtet werden kann. Da nun aber der Körper auf Grund der zwischen seinen verschiedenen Durchmessern vorhandenen Differenz je nach seiner Lage eine abweichende Stabilität aufweisen kann, ist es verständlich, daß auch zu seinem Weiterrollen den verschieden stabilen Lagen entsprechend unterschiedlich starke Kräfte nötig sind. So beansprucht ein auf dem Rücken oder dem Bauche liegender Körper zum Wegrollen eine stärkere Krafteinwirkung als ein auf der Seite liegender. Auf diese Weise schaltet sich z. T. auch *die Körperlage* in die Reihe der Faktoren ein, die die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens beeinflussen. Dieser Umstand erklärt die bei Überfahrten beobachtbare, fast gesetzmäßige Erscheinung, daß ein auf der Seite liegender Körper auf Einwirkung des Rades hin in der Regel zunächst etwas gewälzt wird, worauf nach Erlangung der stabileren Rücken- oder Bauchlage das Überfahren erfolgt. Die Lagerung der von diesem verursachten Verletzungen wird natürlich eine dementsprechende sein. In der Tat zeigt die Lagerung der Körperverletzungen, insbesondere der durch das Überrollen vom Rade hervorgebrachten, daß das Überfahren bei einer solchen stabileren, insbesondere Rücken- oder Bauchlage des Körpers erfolgt, niemals aber bei einer Seitenlage. Auf der gleichen Grundlage ist auch die Erscheinung erklärbar, daß auch das Weiterschieben des Körpers durch das Rad in der Regel bei einer stabileren Körperlage erfolgt. Von dieser Regel abweichende Erscheinungen, wie z. B. das Weiterschleifen des Körpers in Seitenlage oder darauf deutende Erscheinungen, müssen deshalb die Aufmerksamkeit stets auf die Mitwirkung irgendeines besonderen Umstandes lenken. Wir beobachteten eine durch ihre Lage und besondere Form unsere Aufmerksamkeit erweckende Verletzung bei der Obduktion eines von der

elektrischen Straßenbahn überfahrenen 8jährigen Mädchens; auf dem oberen Teil der linken Gesäßregion war zwischen zwei verschieden breiten, längsgekratzte Streifen aufweisenden Epithelabschürfungen eine den Kratzern gleichgerichtete, längliche, etwas klaffende Kontinuitätsunterbrechung der Oberhaut zu sehen (Abb. 2). Auf Grund der Form



Abb. 2.

und dem Maße der Verletzung durften wir mit Recht annehmen, daß die Verletzung vom Mittelspurkranzrade des Straßenbahnwagens hervorgebracht war, währenddem es das Mädchen 20 m vor sich her schob. Dieser Annahme gemäß mußte also der Körper während des Weiterschiebens auf seiner rechten Seite gelegen haben, namentlich war nur bei solcher Körperlage die Berührung von Rad und Körper auf die Weise denkbar, daß die in Rede stehende Verletzung entstehen konnte. Allein gegen die Richtigkeit dieser Annahme sprach außer dem Mangel der vom Weiterrutschen stammenden Verletzungen auf der rechten Körperseite auch die Lagerung der Verletzungen. In letzter Hinsicht tauchte nämlich die Frage auf, warum die Wälzung des Körpers nicht in eine stabilere, insbesondere die Bauchlage erfolgte, wenn die Verletzung tatsächlich vom Rade bewirkt war; stand dies doch auf Grund des Obigen mit Recht zu erwarten. Im weiteren war das Unterbleiben der Wälzung nur auf die Weise denkbar, daß das Schutzbrett des automatisch in Funktion tretenden Rettungsgerätes, dessen linker Teil laut den Untersuchungsakten beschädigt war, das auf seiner

rechten Seite liegende Mädchen vor sich hochhielt, währenddem die linke Gesäßgegend des Kindes zufolge der Beschädigung des Schutzbrettes mit dem Rade in Berührung stehen mochte. Unter solchen Umständen wäre das Unterbleiben der Körperwälzung verständlich gewesen und damit die Lagerung der Verletzung, sowie der Mangel der vom Weiterrutschen stammenden Verletzungen. Da jedoch in ähnlichen Fällen die Wälzung des Körpers aus der Seiten- in die Bauchlage — wie auch an Hand der Abbildung zu beurteilen — auch bei einer geradezu sanften Berührung mit dem Straßenbahnwagen erfolgt, erschien die gedachte Ursache des

Unterbleibens der Wälzung in eine stabilere Lage dennoch nicht wahrscheinlich. Im weiteren erwies sich teils auf Grund der nachträglich beschafften Daten, teils an Hand der Unfallskizze, daß der betreffende Straßenbahnwagen nicht mit einer automatischen, sondern älteren Vorrichtung ausgestattet war, und daß man das Mädchen gerade unterhalb des Schutzbrettes, in eingezwängter Rückenlage heraushob. Im Besitze dieser Daten war das Zustandekommen der zufolge ihrer Form irreführenden Verletzung nur noch mit dem Weiterrutschen des Körpers auf der linken Gesäßgegend erklärbar. Die Richtigkeit dieser Annahme wurde denn auch von allen späteren Daten bestätigt.

Der Fall lehrt, welch zahlreiche Variationen der Verletzungsformen bei Überfahrungen möglich sind, was nicht selten zu falschen Annahmen verleitet; auch zeigt er, wie sehr bei Überfahrungen die Erkennbarkeit der Geschehnisse, von Ursache und Wirkung es erfordert, die Rolle aller Faktoren richtig abzuwägen. Diese scheinen oft unerheblich zu sein, nicht selten aber vermag nur ihr Inrechnungstellen auf den richtigen Weg zu bringen, wie denn auch in unserem Falle das Unterbleiben einer bedeutungslos scheinenden Körperbewegung, im ganzen das der 90°igen Wälzung um die Längsachse des Körpers, unsere Aufmerksamkeit erweckte und uns zu einer eingehenden Prüfung veranlaßte, was schließlich zu einer richtigen Deutung des Entstehens der Verletzung geführt hat.

Kurz bemerkt sei, daß natürlich eine Hebung oder Senkung des Bodens je nach der Bewegungsrichtung des Fahrzeuges seine Wirkung für oder wider die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens geltend machen kann.

Noch muß auch folgende Tatsache erwähnt werden. Wie die Fahrzeugsgeschwindigkeit keinen Einfluß auf die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens hat, ebensowenig wird sie von der Größe der dem Boden aufliegenden Körperfläche beeinträchtigt. Die negative Rolle dieser Faktoren, wie auch die der Gleitgeschwindigkeit des Körpers ergibt sich aus den Ergebnissen der *Coulombschen* Untersuchung über die Reibung.

Allein die Anwendung der Gesetze der Reibung wäre im Falle der Überfahrung des menschlichen Körpers nur dann ohne weitere Überlegung möglich, wenn das Rad den liegenden Körper stets im Massenmittelpunkt, also (bei völlig adduzierten Gliedmaßen) etwa in der Höhe des Promontoriums angriffe. Da die Krafterwirkung indessen den Körper an den unterschiedlichsten Stellen treffen kann, ist es natürlich, daß in solchen Fällen im Verhältnis der Entfernung vom Massenmittelpunkte ein immer geringerer Teil des Körpergewichts Widerstand gegen das Weitergleiten leistet, was das Einschalten eines weiteren, die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens beeinflussenden Faktors zur Folge hat, nämlich das des aus der Statik starrer Körper wohlbekannten Drehmomentes. Der gegen die Fortbewegungswirkung des Rades arbeitende

Körpergewichtsteil wird nämlich im Verhältnis der Entfernung des Angriffspunktes der Kraft vom Massenmittelpunkt geringer, wodurch die Bedingungen für den Eintritt der Drehbewegung immer günstiger werden; dann veranlaßt der durch seinen Massenmittelpunkt ausgeübte „mechanische Zwang“ den Körper sich auf die Wirkung des Rades hin um den Massenmittelpunkt als Achse zu drehen. Da aber diese Drehwirkung — unter ähnlichen Bedingungen — um so leichter erfolgt, in je weiterem Abstände von der Drehachse die Kraft den Körper angreift, genauer, je größer der Wert der von der Drehachse auf die Richtungslinie der Kraft gezogenen Senkrechten, also der Hebelarm ( $k$ ) ist, so folgt, daß *die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens in umgekehrtem Verhältnis zur Länge des Hebelarms steht*. In der Sprache der Praxis ausgedrückt: unter gleichen Bedingungen bewegt das Rad den Körper leichter aus seiner Lage, wenn es ihn zu einer Drehbewegung zwingend, an einer vom Massenmittelpunkte entfernteren Stelle, z. B. in der Höhe der Schultern angreift, als wenn es an einer dem Massenmittelpunkte näher gelegenen Stelle, z. B. den Darmbeinkämmen, wirken würde. Aber gerade in bezug auf die Drehbewegung beansprucht der menschliche Körper die Beachtung von Eigenheiten, mit denen bei keinem andern Gegenstand zu rechnen ist. Bereits der Umstand, daß die Gewichtsverteilung unseres Körpers keine gleichmäßige ist, macht gewisse Überlegungen erforderlich. Die typischste Eigenheit unseres Körpers mit Bezug auf die Drehwirkung ist jedoch, daß seine leichtbeweglichen Teile, wie der Kopf und die Gliedmaßen, beim Überfahren gewissermaßen zu einer von den übrigen Körperteilen unabhängigen, selbständigen Rolle gelangen können. Insbesondere das Weitergleiten von Kopf und Extremitäten auf die Einwirkung des Rades hin zieht sehr oft nicht die Mitbewegung des ganzen Körpers nach sich, vielmehr erfolgt — soweit überhaupt möglich — lediglich eine Drehbewegung um das nächstgelegene, einen mechanischen Zwang ausübende Gelenk, wie z. B. um das Atlanto-occipital- oder das Schultergelenk als Drehachse. Die Bildung der Drehachse vermag sich auch gegebenenfalls in den benachbarten Gelenken evtl. mehrere Male nacheinander zu wiederholen, und auf diese Weise können sich sogar einzelne Teile der Gliedmaßen in bezug auf Drehbewegung verselbständigen. Die spezielle Rolle der Extremitäten verdient jedoch auch von dem Gesichtspunkte aus Beachtung, daß einzelne Gelenke lediglich auf die aus gewisser Richtung wirkende Kraft hin als Drehachse in Frage kommen, nicht dagegen auf aus entgegengesetzter Richtung wirkende. Dies trifft z. B. im Falle des Knie- und des Ellenbogengelenkes zu. Also alles Faktoren, die eintretendenfalls ebenfalls als die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens beeinflussende Momente zu berücksichtigen sind. Diese Eigenheiten der Gliedmaßen spielen nach meiner Beobachtung beim Zustandekommen der abwechs-

lungsreichen gestaltlichen Eigenheiten der Verletzungen auch keine geringe Rolle.

Schließlich muß ich mich mit einem gleichfalls nicht vernachlässigbaren Faktor beschäftigen: mit der Frage des von der Körperlängsachse und der Bewegungsrichtung, oder besser, der Ebene des Rades eingeschlossenen Winkels, des Anfahrwinkels ( $\gamma$ ). Ihr experimentelles Studium lehrt, daß vom Standpunkte des Anfahrwinkels aus beim Übergehen des Rades die Verhältnisse am günstigsten liegen, wenn der Winkel  $90^\circ$  hat. Bei seiner Verkleinerung tritt nämlich eine dauernd wachsende, den Gegenstand in seitlicher Richtung zu schieben strebende Flankenwirkung auf, die bereits bei sehr kleinem Anfahrwinkel einen solch hohen Grad erreicht, daß das Rad selbst unter Bedingungen, die vom Standpunkte des Überfahrens aus günstig sind, den Gegenstand — soweit überhaupt möglich — seitwärts dreht.

Die Rolle der Flankenwirkung wird auf Grund folgender Überlegung klar. Die Wirkung des unter einem Anfahrwinkel von  $90^\circ$  mit dem Gegenstand in Berührung kommenden rollenden Rades auf den Gegenstand kann durch die Rolle eines durch den Berührungspunkt des Rades mit dem Gegenstand und dem Boden gelegten geraden Kraftarmes ersetzt werden (Abb. 1,  $BD$ -Abschnitt der Geraden  $K$ ), der am Berührungspunkte mit dem Gegenstande ( $B$ ) in der Richtung der Tangente des entsprechenden Punktes der vom Rade beschriebenen Zyklode seine Wirkung  $P$  ausübt. Diese kommt — was sich aus der gegenseitigen Lage von Rad und Gegenstand ergibt — nur in zwei Bemessungen zur Geltung: in der Richtung der den Gegenstand in der Rollrichtung des Rades zu bewegen bestrebten Horizontalen ( $b$ ) und in der ihn zu Boden drückenden Vertikalen ( $a$ ). Der Wert der den Gegenstand in der dritten Bemessung, insbesondere seitwärts vom Rade zu bewegen trachtenden Komponente ist hierbei gleich Null. Mit der Verkleinerung des Anfahrwinkels verändert sich indessen die Lage des Kraftarmes zum Körper dergestalt, daß nunmehr die auch in der dritten Bemessung zur Geltung kommende, den Gegenstand seitwärts von der Bewegungsrichtung des Rades abdrückende Wirkung gleichfalls zu einer Rolle gelangt. Mit der Verkleinerung des Anfahrwinkels rückt nämlich der Berührungspunkt ( $D$ ) des Rades mit dem Boden, also das auf den Boden sich stützende Ende des substituierten Kraftarmes, immer näher an den Gegenstand heran, wodurch auch gerade die in der dritten Bemessung eine Flankenwirkung hervorrufende Projektion des Kraftarmes (Abb. 3,  $\overline{B_1D}$ ) einen immer größeren Winkel  $\delta$  mit dem Boden einschließt. Da aber, wie an den Abb. 3, 4 und 5 zu ersehen, im Falle gleicher Bedingungen mit der Vergrößerung des Winkels  $\delta$  auch die Flankenkomponente  $d$  in direktem Verhältnis wächst:  $d = m \cdot \text{tg } \delta$ , ist es klar, daß der Winkel  $\delta$  und der Anfahrwinkel, d. h. die Flankenwirkung und der Anfahr-

winkel in umgekehrtem Verhältnis zueinander stehen. Also: je kleiner der Anfahrwinkel, um so größer die Flankenwirkung des Rades, also um so geringer die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens durch das Rad. Das Verhältnis der Winkel  $\gamma$  und  $\delta$  zueinander wird in Abb. 4 schematisch dargestellt. Da nun der Zusammenhang dieser beiden Winkel — ebenfalls infolge der in Abb. 4 veranschaulichten Verhältnisse — auch nach Abb. 5 auszulegen geht, so besteht zwischen der die Flankenwirkung ausübenden Komponente  $d$  und dem Anfahrwinkel folgender geome-

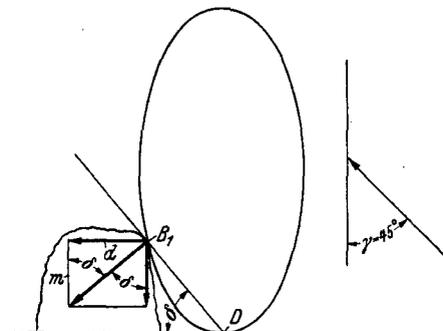


Abb. 3.

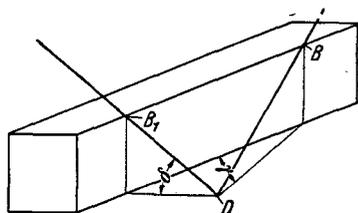


Abb. 4.

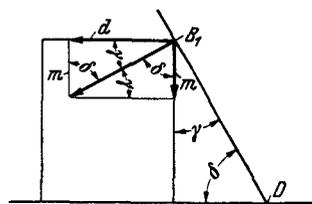


Abb. 5.

trischer Zusammenhang:  $d = m \cdot \cotg \gamma$ . Der Anfahrwinkel beeinflusst demnach die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens in geradem Verhältnis zu seiner Tangentenfunktion.

Allein bei der Wertung der Rolle des Anfahrwinkels muß auch berücksichtigt werden, welche Lage er zu dem einen mechanischen Zwang ausübenden Drehmittelpunkt des Körpers oder Gegenstandes einnimmt. Vom Gesichtspunkte der Wahrscheinlichkeit des Überfahrens aus besteht nämlich auch im Falle ein und desselben Anfahrwinkels eine Abweichung, je nachdem, ob seine Spitze gegen die Drehachse gerichtet oder von dieser abgewendet ist. In ersterem Falle zieht nämlich die zufolge der Flankenwirkung eintretende Drehung des Gegenstandes notwendigerweise die Vergrößerung des Anfahrwinkels und damit zugleich die der Wahrscheinlichkeit des Überfahrens nach sich. Ist die Überfahung auch nach diesem Günstigerwerden der Verhältnisse nicht erfolgt, dann dreht

sich das Spiel nach dem Anwachsen des Anfahrwinkels auf  $90^\circ$  um, insbesondere wechselt der Anfahrwinkel im Zusammenhange mit der Weiterbewegung des Gegenstandes die Richtung und wird zugleich stufenweise immer kleiner. Mit dem Umkehren des Spiels entsteht also im weiteren die gleiche Lage wie in den Fällen, in denen der Anfahrwinkel mit seiner Öffnung bereits ursprünglich gegen die Drehachse zu sah; insbesondere zeigt die zufolge Abdrehung des Gegenstandes eintretende Veränderung des Anfahrwinkels und damit zugleich die Wahrscheinlichkeit des Überfahrens durch das Rad stufenweise absinkende Tendenz.

Aus vorstehendem geht hervor, daß in dem hier besprochenen Abschnitte des Überfahrens die Erscheinungen zahlreiche Ursachen haben, und daß diese Erscheinungen vor allem auf die Höhenmaße von Rad und Körper, weiterhin auf das Maß der auf Grund der Eigenschaften von Körper, Rad und Boden vorausgesetzten Reibung, sowie auf die Lage von Rad und Körper zueinander zurückführbar sind.

Auch ist erkennbar, daß der während des Aneinandergeratens von Rad und Körper sich abspielende mechanische Vorgang einer der kompliziertesten Abschnitte des Überfahrens ist, in welchem bei der Schaffung der Erscheinungen, der Konsequenzen zahlreiche, jedoch den physikalischen Gesetzen gehorchende, folgerichtige und in ihren Wirkungen mechanisch analysierbare Faktoren mitwirken, deren Vielheit und noch mehr die Kombination ihrer Wirkung die auch bei der Sektion wahrnehmbare große Abwechslung der in diesem Überfahrungsabschnitte entstehenden Verletzungen erklären. Mit Recht sagt *Buhtz*, man könne die in diesem Überfahrungsabschnitte zustande kommenden Erscheinungen meist nicht auf die Mitwirkung eines einzigen bestimmten Faktors zurückführen. Zur Rekonstruktion des komplizierten Vorganges dieses Überfahrungsabschnittes, zur Analyse seiner einzelnen Momente, also zum Verständnis des Mechanismus der Verletzungen ist es erforderlich, möglichst alle mitwirkenden Faktoren und deren Verhältnis zueinander zu kennen, also die Wirkung, die Rolle jedes einzelnen Faktors zu bestimmen. In vorstehendem wünschte ich die Rolle einiger wichtiger Faktoren auf mechanischer Grundlage zu beleuchten.

---

#### Literaturverzeichnis.

*Buhtz*, Der Verkehrsunfall. Stuttgart 1938. — *Reuter*, Vjschr. gerichtl. Med. 43, Suppl.H. 2, 90 (1912). — *Rhorer*, Physica. Budapest 1914.

---