

Berücksichtigung physikalischer Gesichtspunkte bei der medizinischen und juristischen Beurteilung von Verkehrsunfällen¹.

Von

Prof. Nippe, Königsberg i. Pr.

Veranlassung zu den folgenden Ableitungen gibt ein Verkehrsunfall, der in physikalischer Beziehung insofern einfache Verhältnisse darbot, als nach dem Obduktionsergebnis der dabei tödlich verunglückte Motorradfahrer lediglich mit seinem Vorderkopf in einem spitzen Winkel von rund 20° etwa in einer Ausdehnung von 10:10 cm gegen die neben dem links angebrachten Führersitz befindliche Scheibe gestoßen war. Es war zu einer umfangreichen Zertrümmerung des Schädelns gekommen, dessen eine Seite nach innen eingedrückt war. Glassplitter, Gehirnteile und Knochensplitter fanden sich sowohl in dem Kraftwagen, einer geschlossenen Limousine, wie verhältnismäßig weit bis zu 15 m von der Unfallstelle weggeschleudert. Am Vorderkopf war dicht neben der Mittellinie ein kleiner *Glassplitter* von der zertrümmerten Scheibe des Kraftwagens *im Knochen eingekleilt*, ein Befund, der bemerkenswert ist, da er zweifellos nur sehr selten vorkommt. Mit Sicherheit konnte auch festgestellt werden, daß der Kopf des Motorradfahrers nicht überfahren worden war.

Bei derartigen Geschehnissen wird der medizinische Sachverständige bei der Demonstration der durch die Gewalteinwirkung auf den menschlichen Körper entstandenen Verletzungen danach gefragt, welche Gewalten hier tätig gewesen sind; das insbesondere dann, wenn durch Zeugen und die äußeren Umstände zunächst nicht restlos eine Aufklärung über die Geschwindigkeiten, insbesondere hier des Kraftwagens, erhalten werden konnte. Hier kann eine mathematische Belehrungsweise weiterhelfen, obwohl keine mathematische Formel alle biologischen Vorgänge dabei genügend zu klären vermag. Die anzuwendenden Formeln und Konstanten finden sich in jedem Lehrbuch der elementaren Physik.

Bei Verkehrsunfällen müssen alle erreichbaren Spuren von wirklich sachverständigen Technikern und Ingenieuren oder genügend technisch ausgebildeten Polizeioffizieren in ganz anderem Umfange, als das bisher im allgemeinen geschieht, unter Berücksichtigung aller Nebenumstände aufgenommen und ausgewertet werden.

¹ Herrn Kollegen *Fritz Reuter*-Graz zum 60. Geburtstage in Freundschaft gewidmet.

Die gerichtliche Leichenöffnung behält für eine große Zahl von Fragen durch Verkehrsunfälle Verstorbener ihre volle Bedeutung. Ich nehme lediglich als Beispiele: Identifikation eines Unbekannten; An- oder Überfahren; Geschleiftsein und wie; sofortige Bewußtlosigkeit; die Möglichkeit der Untersuchung eines tödlich Verunfallten auf chronische oder mehr akute Krankheitszustände; die nur durch die Sektion möglichen Erhebungen bezüglich der Einverleibung von Alkohol und anderen Rauschgiften durch Untersuchung von Blut, Urin, Mageninhalt, Gehirn usw.; die Frage der Bedeutung sekundärer Infektionen und noch sehr vieles mehr.

Aber nur durch den Vergleich exakt erhobener Begleitumstände eines Verkehrsunfalles mit den Sektionsbefunden ist es möglich, die Verhältnisse zu klären, die im Augenblick des Verkehrsunfalls herrschten.

Dem Richter ist die Bedeutung klar zu machen, die die einzelnen Faktoren für die Aufklärung eines derartigen Unfalles besitzen. Sonst werden Fehlurteile zustande kommen, die sich aus der Überschätzung des medizinischen oder des technischen Befundes ergeben und insbesondere leicht daraus erwachsen, daß die möglichst bald am Unfallort zu machenden Ermittlungen ungenügend durchgeführt wurden. Solche Fehlurteile kommen aber aus den eben genannten Gründen fast überall vor, wie aus der Kenntnis des entsprechenden Schrifttums aller Kulturländer sich ergibt.

Es ist in dieser medizinischen Zeitschrift hier Aufgabe, die medizinischen Befunde, die biologischen Geschehnisse mit einfachen physikalischen Gesetzen und Tatsachen in Zusammenhang zu bringen und mit ganz einfach gearteten Vorgängen des alltäglichen Lebens, die jedem Laien geläufig sind, in Vergleich zu setzen.

Es soll in dieser Abhandlung also dem Juristen und dem technischen Sachverständigen auch klar gemacht werden, was der medizinische Sachverständige aus seinen Befunden über den Hergang eines solchen Verkehrsunfalls auszusagen in der Lage ist.

Technisch- oder medizinisch-psychologische Gesichtspunkte werden dabei hier bewußt nicht mit erörtert.

Bei den allermeisten Verkehrsunfällen wird man es mit verschiedenen schweren Massen oder Körpern und mit verschiedenen Geschwindigkeiten zu tun haben.

Da bei allen diesen Dingen eine Reihe von Vorgängen mitspielen, die sich einer exakten Berechnung entziehen und die ich als *biologische Faktoren* bezeichnen möchte, sind die ausgerechneten Werte nur mehr oder weniger stark angenähert.

In den Gleichungen bedeutet das Zeichen \sim Überschlagswert, das Zeichen \approx einen guten Annäherungswert.

Handelt es sich bei einem der beiden Körper um eine erhebliche Masse, die sich mit großer Geschwindigkeit fortbewegt, so ist es selbstverständlich, daß, wenn dieser schwere und schnell oder doch schneller fahrende, um beim Beispiel zu bleiben, Kraftwagen mit einem Motorradfahrer kollidiert, diese Kollision für den Körper des Motorradfahrers in den allermeisten Fällen eine sehr erhebliche Zertrümmerung

der Weichteile und oft auch der Knochen nach sich zieht. Haben beide Massen nur ganz geringe Geschwindigkeiten und kollidieren dann, so werden die Beschädigungen, insbesondere des Menschen, kaum merklich sein.

Auf Verkehrsunfälle übertragen bedeutet das, daß die *untere* Grenze der Energien feststellbar sein muß, bei der 2 Fahrzeuge oder Körper bei einem Zusammenstoß gerade schon beschädigt werden müssen. Größere Beschädigungen bedeuten dann die Einwirkung höherer Energien oder das Dazukommen von besonderen nicht gewöhnlichen Ereignissen. Auch diese können auf medizinischem Gebiet liegen.

Es wird hier der Fall behandelt, daß die eine Masse (Kraftwagen) wesentlich größer ist, als die andere Masse (Mensch).

Die Masse des Fahrzeuges (Wagen, Fahrrad, Motorrad), auf dem ein Mensch sitzt, bei einem Zusammenstoß mit einem anderen bewegten oder unbewegten Körper zu berücksichtigen, ist nicht erforderlich, da die Masse des Motorrades usw. das gleiche Schicksal des auf ihm sitzenden Menschen erleidet, nämlich bei einem Zusammenstoß mit einer schweren Masse gebremst und mitgerissen zu werden und infolge der Trägheitswirkung beide Massen als völlig getrennt betrachtet werden können.

Daraus geht hervor, daß diese Betrachtung auch für *Fußgänger* in gleichem Umfange gilt.

Bei der zu Beginn gemachten Annahme, daß die mit dem Menschen kollidierende Masse, ein Kraftwagen, die Masse, die der Mensch darstellt, beträchtlich übertrifft, ist für die weitere physikalische Betrachtung zunächst die Masse des Kraftwagens *nebensächlich* und tritt also auch in den Formeln und Erläuterungen dazu nicht in Erscheinung. Sie würde vorkommen, wenn sie durch den oder im Verlauf des Zusammenstoßes merklich gebremst würde.

Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß die hier letzten Endes zu erklärenden zerstörenden Wirkungen auf den menschlichen Körper bei einem derartigen Zusammenstoß schon unmittelbar oder ganz kurze Zeit danach praktisch eingetreten sind.

Es mag die Masse m_1 (z. B. ein Mensch mit dem Körpergewicht von 75 kg) mit der Geschwindigkeit v_1 mit der Masse m_2 (etwa einem Kraftwagen mit Insassen von 1000 kg Gewicht) mit der Geschwindigkeit v_2 zusammenprallen. Durch den Zusammenstoß wird die Masse m_1 erstens gebremst, zweitens durch den Kraftwagen zunächst ein noch so kleines Stück durch Haftenbleiben mitgerissen. Dieses Haften ist deswegen immer anzunehmen, weil wir es nicht mit absolut elastischen Körpern zu tun haben.

An der Berührungsfläche der beiden Massen treten also folgende 2 Energien zeitlich nacheinander auf: erstens die Abgabe der kineti-

schen (Bewegungs-)Energie, die der Körper m_1 besitzt (E_1); zweitens die Aufnahme von kinetischer Energie, weil m_1 für den Moment des Mitgerissenseins durch m_2 die gleiche Geschwindigkeit v_2 besitzt (E_2).

Die Gesamtenergie (E) entspricht also der Summe dieser beiden Einzelenergien E_1 und E_2 :

$$E = E_1 + E_2.$$

Unter Geschwindigkeit versteht man den in einer Zeiteinheit zurückgelegten Weg. Hat z. B. ein Kraftwagen eine Geschwindigkeit von 60 Stundenkilometern, so legt er einen Weg von 60 km in 1 Stunde zurück $\left(v = \frac{s}{t}, s = \text{spatium} = \text{Weg}, t = \text{Zeit}\right)$.

Diese kurze Erläuterung des Geschwindigkeitsbegriffs ist hier zweckmäßig, weil er in der weiter unten vorkommenden Formel für die kinetische Energie $E = \frac{mv^2}{2}$ gebraucht wird.

Bei der Berechnung der Geschwindigkeit der Masse m_1 kommt es noch auf den Winkel α an, unter dem sich die beiden Massen treffen. Dieser Winkel α ist beim Zusammenstoß in genau gleicher oder entgegengesetzter Bewegungsrichtung $= 0^\circ$.

Für die Energie E_1 , entstanden durch Bremswirkung des Körpers m_1 , spielt nur der Teil der Geschwindigkeit v_1 dieses Körpers eine Rolle, der in oder entgegengesetzt der Fahrtrichtung der größeren Masse m_2 (des Kraftwagens) liegt.

Dieser Bruchteil hängt ab von dem Winkel α , und zwar ist dieser Bruchteil der Cosinus von α .

$\alpha = 0^\circ$	$\cos \alpha = 1,00$
$\alpha = 10^\circ$	$\cos \alpha = 0,99$
$\alpha = 20^\circ$	$\cos \alpha = 0,94$
$\alpha = 30^\circ$	$\cos \alpha = 0,87$
$\alpha = 45^\circ$	$\cos \alpha = 0,71$
$\alpha = 60^\circ$	$\cos \alpha = 0,50$
$\alpha = 90^\circ$	$\cos \alpha = 0,00$

Der cos ist definiert aus einem rechtwinkligen Dreieck und betrifft das Verhältnis der kürzeren zur längeren Seite, die den betreffenden Winkel bilden.

Setzt man nun für die beiden in Frage kommenden Energien die Werte entsprechend der Formel Energie $= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ ein, so erhält man folgende Formel, wobei das erste Glied E_2 und das zweite Glied E_1 darstellt:

$$E = \frac{1}{2} m_1 v_2^2 \pm \frac{1}{2} m_1 (v_1 \cos \alpha)^2.$$

Entsteht die Gesamtenergie (E) der sich treffenden Körper dadurch, daß sie sich entgegenkommen, gilt in der vorstehenden Formel, deren einzelne Zeichen oben erklärt sind, das Pluszeichen, kommt die Ge-

samtenergie dadurch zustande, daß die größere Masse (der Kraftwagen) die kleinere Masse (den Menschen) einholt und dabei kollidiert, gilt in der Formel das Minuszeichen.

Durch eine einfache Umrechnung (nämlich: vor die Klammer ziehen des gemeinsamen Faktors $\frac{1}{2} m_1$) erhält man folgende Formel:

$$E = \frac{1}{2} m_1 \cdot [v_2^2 \pm (v_1 \cos \alpha)^2]$$

und damit die Möglichkeit, durch Einsetzen jeweils gegebener und nachprüfbarer Gewichtszahlen, ausgedrückt in Kilogramm, und Geschwindigkeiten, ausgedrückt in Stundenkilometer, die im Einzelfalle auftretenden Energien zahlenmäßig zur Anschauung zu bringen.

Um nun einen Begriff dieser Formel geben zu können, vergleicht man zweckmäßig die beim Zusammenstoß auftretenden Energien mit denen, die ausgelöst werden durch das Auftreffen eines frei fallenden Gewichtes aus einer bestimmten Höhe, wobei die Angriffsfläche dieses Gewichtes im gegebenen Falle der Berührungsfläche der beiden zusammenstoßenden Körper gleich zu setzen ist.

Beim freien Fall wird die Energie der Lage, die der Masse mal Erdbeschleunigung g mal Fallhöhe h entspricht, restlos in kinetische oder Bewegungsenergie $\left(\frac{m v^2}{2}\right)$, wobei v die Auftreffgeschwindigkeit darstellt) umgewandelt, die beim Auftreffen des fallenden Körpers als Druck oder Schlag zur Auswirkung gelangt. Der Luftwiderstand kann bei geringen Fallhöhen schwererer Körper ohne weiteres vernachlässigt werden. Man kann ein solches Auftreffen eines fallenden Gewichtes mit dem Zusammenprall einer bewegten und einer unbewegten oder zweier bewegter Massen ohne weiteres also vergleichen.

Aus der Gleichung

$$E = \frac{1}{2} m_1 \cdot [v_2^2 \pm (v_1 \cos \alpha)^2]$$

kann man also die Energie des Zusammenpralls berechnen, und man kann diese Energie vergleichen mit der, die ein frei fallender Körper beim Aufprall erzeugt.

Der rechte Teil der Gleichung wird zum Teil durch einen Klammerausdruck $[v_2^2 \pm (v_1 \cos \alpha)^2]$ eingenommen, den man im einfachsten Falle zunächst einmal als 1 ansetze. Dann errechnet sich die Fallhöhe aus folgender Gleichung:

$$E = \frac{1}{2} m_1 \cdot 1 = \frac{1}{2} m_1 \cdot v^2 = m_1 g h.$$

Oder mit Worten ausgedrückt: Die Energie beim horizontalen Zusammenstoß ist gleich der Bewegungsenergie beim Auftreffen des fallenden Gewichtes, ($v =$ dessen Auftreffgeschwindigkeit,) und diese ist wiederum gleich der Energie der Lage dieses Gewichtes vor dem Fall aus der Höhe h .

Es ist also $v^2 = 1$ und damit, da g bekannt ist, errechnet man die Fallhöhe aus folgender Gleichung:

$$\frac{1}{2} m_1 \cdot 1 \frac{\text{km}^2}{\text{Stunden}^2} = m_1 \cdot 981 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2} \cdot h.$$

Teilt man diese Gleichung beiderseits durch m_1 , verwandelt man die Kilometer in Zentimeter und die Stunden in Sekunden, so erhält man folgende Gleichung:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{(100000 \text{ cm})^2}{(60 \cdot 60 \text{ sec})^2} = 981 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2} \cdot h.$$

Löst man diese Gleichung nach h auf, so erhält man:

$$h = \frac{1 \cdot 100000^2 \text{ cm}^2 \cdot \text{sec}^2}{2 \cdot 3600^2 \cdot 981 \text{ cm} \cdot \text{sec}^2}$$

oder nach numerischer Berechnung

$$h = 0,394 \text{ cm} \text{ also etwa } 0,4 \text{ cm}.$$

Beim Einsetzen eines aus der Praxis genommenen beliebigen Beispiels ergibt die gemäß dem Klammerausdruck errechnete Größe mit 0,4 multipliziert die Fallhöhe in Zentimetern.

$$\text{Fallhöhe} = 0,4 [v_2^2 \pm (v_1 \cos \alpha)^2].$$

Die Zahl 0,4 ist bei allen weiteren Verkehrsunfällen als Konstante anzusehen.

Die Masse m_1 wird dadurch berücksichtigt, daß dem fallenden Gewicht diese Masse gegeben wird.

Fährt also ein Kraftwagen mit 30 km Stundengeschwindigkeit so gegen einen Motorradfahrer, dessen Körpergewicht 75 kg beträgt und der mit 20 km Stundengeschwindigkeit fährt, daß sie mit einem Winkel von $\alpha \sim 20^\circ$ zusammenstoßen, und wird im wesentlichen der Vorderkopf getroffen, so ist die Wirkung dieses Zusammenpralls annähernd die gleiche, als wenn ein Gewicht von 75 kg aus 5 m Höhe auf die betreffende Stelle des Vorderkopfes des Motorradfahrers herunterfällt.

Zustande kommt dieser Wert, indem man in die Fallhöhenformel die genannten Zahlen einsetzt. Dann lautet diese Formel:

$$\text{Fallhöhe} = 0,4 \cdot [30^2 + (20 \cdot 0,94)^2] = 0,4 \cdot (900 + 353) \approx 500 \text{ cm} = 5 \text{ m}.$$

Das bedeutet, daß im gewählten Beispiel ein Gewicht von 375 kg im freien Fall aus 1 m Höhe auf die betroffene Stelle eines Menschenkopfes fällt. Das ist aber ein enormer Wert! Denn rechne ich nun jetzt nur den Kopf allein = 5 kg, so ergibt sich noch immer ein freier Fall von 5 kg aus 5 m Höhe oder von 25 kg aus 1 m Höhe.

Eine feste gegenpolige Unterstützung des Körpers ist *nicht* erforderlich, weil eine kurzfristige Einwirkung der Gewalt praktisch nur in Frage kommt.

Es ist sehr naheliegend, daß die Versuchsergebnisse von *Messerer* (Über Elastizität und Festigkeit der menschlichen Knochen, Stuttgart, 1880, J. G. Cottasche Buchhandlung) auch rechnerisch für die Ableitung der *Mindestenergie*, die zum Entstehen von Brüchen notwendig ist, bei Verkehrsunfällen verwertet wurden. Das Gewicht des menschlichen Kopfes kann dabei nach *Vierordt* (Daten und Tabellen, 1893, Jena, Gustav Fischer, S. 19) mit 4—5 kg angenommen werden. Es ergibt sich aber, daß die bei Verwendung der Formel für die potentielle oder Lageenergie errechneten Werte in dem Sinne zu gering sind, daß Schädelbrüche in einem zu kleinen Prozentsatz der von mir angestellten Versuche an der Leiche nur erzielt wurden.

Legt man die *Messererschen* Werte für Bruchbelastung und Verkleinerung des gedrückten Schädeldurchmessers der Berechnung der Fallhöhe eines Gewichtes von 2 kg zugrunde (man setzt die potentielle Energie (mgh) des Gewichts gleich der potentiellen Energie der Bruchbelastung), so erhält man eine Mindestfallhöhe von 90 cm, bei welcher gerade noch ein Schädelbruch eintreten müßte. Von mir angestellte Versuche ergaben aber folgendes: Es wurde zwar durch die Kante des fallenden Gewichts die Kopfschwarte durchschlagen, auch an der äußeren Knochentafel ein kleine Eindrückung erzielt, aber keine das knöcherne Schädelgewölbe durchsetzende Bruchlinie. Die *Messererschen* Versuche bestanden in einem *langsamem* Zusammendrücken des Kopfes, während bei den von mir angestellten Versuchen des Fallenlassens von Gewichten auf den durch die Totenstarre der Halsmuskulatur zwar fixierten, aber sonst nicht unterstützten Kopf die Energieeinwirkung *plötzlich* stattthat.

Eine Verdoppelung oder Verdreifachung der Fallhöhe oder eine Verdoppelung oder Verdreifachung des auf den Kopf fallenden Gewichts ergibt jedoch ohne weiteres Schädelbrüche.

Auch diese Zahlen sind an und für sich zunächst erstaunlich niedrig. Sie geben ohne weiteres z. B. einen Anhaltspunkt, warum so ungewöhnlich leicht beim Fall eines Menschen aus geringer Höhe oder bei anderer geringfügiger Gewalteinwirkung Schädelbrüche auftreten können.

Weiteren Untersuchungen ist es vorbehalten, die Ursache für den Unterschied zwischen dem rechnerisch gewonnenen Ergebnis aus den *Messererschen* Druckversuchen am Schädel und den Versuchen, Knochenbrüche durch fallende Gewichte am Leichenschädel hervorzurufen, zu klären. Ich habe immerhin schon Anhaltspunkte für die Annahme, daß bei der plötzlichen Einwirkung einer Gewalt auf den Knochen, insbesondere auf den Schädel, sich Unterschiede im elastischen Verhalten

des Schädelknochens ergeben. Es ist dabei auch noch an andere Faktoren zu denken, die sich jedoch durch Versuche an der Leiche nur sehr schwer zur Darstellung bringen lassen (Körperlage, Muskelspannung u. v. a. m.).

Zusammengefaßt ist das Ergebnis dieser Arbeit, daß die Umrechnung von Energien, die bei Verkehrsunfällen auf die dabei beteiligten Körper oder Massen einwirken, in die leicht zu veranschaulichende Darstellung der Wirkung fallender Gewichte auf den menschlichen Körper und insbesondere den Schädel möglich ist.

Solche Fallversuche ergaben auffällig kleine Werte für Gewichte und Fallhöhen, die zur Entstehung von Schädelbrüchen notwendig sind.

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, daß aus den rein medizinischen Befunden über die bei Verkehrsunfällen wirksam gewesenen Geschwindigkeiten wenig ausgesagt werden kann.

Dagegen sind die Sektionsbefunde aus anderen Gründen gerade bei Verkehrsunfällen von besonderer Bedeutung für die Aufklärung der jeweils einem Verkehrsunfall zugrunde liegenden Verhältnisse.

Endlich ist das Ergebnis dieser Arbeit, daß in viel umfangreicherem Maße als das jetzt häufig der Fall ist, einmal der Spurensicherung bei Verkehrsunfällen, sodann der technischen Auswertung der an Fahrzeugen und mit diesen kollidierenden festen Gegenständen wie Baum, Stein, Wand usw. entstandenen Schäden eine erhöhte Bedeutung beigemessen werden muß.

Die richtige Auswertung dieser guten Spurensicherung und Auswertung von Materialschäden allein kann *mit* den medizinischen Befunden, insbesondere denen an der Leiche, die Aufklärung vieler Verkehrsunfälle erst erbringen.
