

(Aus dem Gerichtlich-medizinischen und aus dem Physikalischen Institute der
Lettländischen Universität zu Riga.)

Zum Sturz ins Wasser.

Von

Dr. med. F. v. Neureiter und Dr. phil. Fr. Trey.

Mit 2 Textabbildungen.

Unlängst hatte der eine¹ von uns gemeinsam mit *Klose* in einer Mitteilung, die sich mit einem im Gerichtlich-medizinischen Institute der Universität zu Riga beobachteten Unglücksfalle befaßte, den Nachweis zu erbringen versucht, daß sich beim Sturz ins Wasser aus großer Höhe neben anderen Beschädigungen auch Knochenverletzungen beim Aufschlagen des Körpers auf die Wasseroberfläche ausbilden können. Die Beweisführung stützte sich damals im wesentlichen auf die Berechnung des Energieverlustes, den der Körper beim Fall *im* Wasser erleidet, des Energieverlustes, der, wenn der Mensch mit der Breitseite voran, d. h. in Bauch- oder Rückenlage ins Wasser stürzt, so hoch zu veranschlagen ist, daß schon in wenigen Metern Tiefe (bei ca. 5 m) praktisch nichts mehr von der dem Körper in der Luft mitgeteilten Wucht vorhanden ist. Und da in der zitierten Beobachtung der Grund des Gewässers 8,7—9,1 m unter dem Wasserspiegel, also jenseits der errechneten Niveaufläche, bei der die Geschwindigkeit des mit der Breitseite sinkenden Körpers fast Null wird, gelegen war und andere Verletzungsmöglichkeiten (z. B. Einbauten, an denen der Körper im Wasser hätte zerschellen können) nicht in Frage kamen, so war der Schluß gerechtfertigt, daß sämtliche an der Leiche gefundenen Beschädigungen einschließlich der Knochenbrüche beim Aufprall des Körpers gegen die Wasseroberfläche entstanden waren. Die Richtigkeit der Behauptung *Ziemkes*², daß die Wasseroberfläche unter Umständen eine ähnliche Wirkung auszuüben vermag, wie eine erhebliche stumpfe Gewalt mit breiter Angriffsfläche, konnte somit an einem Beispiel bis zu einem gewissen Grade erwiesen werden.

¹ *Klose* und *Neureiter*, Zum Tode durch Sturz ins Wasser. Beiträge zur gerichtlichen Medizin, herausgegeben von Prof. A. *Haberda* 9, Wien und Leipzig 1929.

² *Ziemke*, Zum Tode durch Sprung ins Wasser aus großer Höhe. Dtsch. Z. gerichtl. Med. 12, 1928.

Wir sagten, daß der Beweis nur bis zu einem gewissen Grade gelungen war, hatte doch die theoretische Berechnung, auf die sich alle weiteren Schlußfolgerungen stützten, eine Reihe vereinfachender Annahmen machen und Zahlenkoeffizienten einführen müssen, die fast ausschließlich von Versuchen mit Kugeln gewonnen worden sind und daher den Verhältnissen beim Fallen eines Körpers von der Form des menschlichen nur beiläufig gerecht werden. Es lag daher nahe, durch Fallversuche mit einem Körper, dessen Form der menschlichen Gestalt mehr entspricht als die Kugel, zu prüfen, bis zu welchem Maße die theoretische Betrachtung die Gegebenheiten beim wirklichen Fall widerspiegelt, zumal es ja für den gerichtlichen Mediziner von besonderem Interesse ist, zu erfahren, wie sich der Körper verhält, je nachdem, ob er mit der Breitseite oder mit dem Kopfe auf das Wasser aufschlägt. Über die Resultate solcher Versuche, die dank dem lebenswürdigen Entgegenkommen des Direktors des Physikalischen Institutes der Universität Riga, Prof. *Fr. Gulbis*, im genannten Institute ausgeführt werden konnten, soll nun im folgenden berichtet werden.

Die Experimente wurden mit einer 3,83 g schweren Holzpuppe, die — in ihren Proportionen der menschlichen Gestalt ähnlich geformt — 4,7 cm lang war und ein spezifisches Gewicht von 1,08 hatte, angestellt, indem das Modell aus bekannter Höhe (125 cm, 238 cm) in Kopf- (d. h. mit dem Kopf nach unten) bzw. in Bauchlage in ein 30 cm \times 50 cm \times 50 cm großes, mit Spiegelglaswänden ausgestattetes Becken, das bis zu 40 cm mit Leitungswasser gefüllt war, fallengelassen wurde. Es war nun die Aufgabe, festzustellen, welche Tiefen der Körper bei den einzelnen Lagen zu verschiedenen Zeiten erreicht, denn daraus kann dann die Geschwindigkeitsänderung in ihrer Abhängigkeit von der Lage des Körpers berechnet werden. Zu diesem Zwecke bedienten wir uns photographischer Momentaufnahmen, die uns je eine Phase des Bewegungsvorganges im Wasser fixierten und uns so die Wegstrecken, welche der Körper im Wasser in der gewählten Zeit zurückgelegt hatte, abzulesen gestatteten. Unser Körper schlägt nach den Fallgesetzen, wenn man von der Reibung in der Luft absieht, auf das Wasser mit einer Geschwindigkeit von 5,0 bzw. 6,9 m/sek auf. Bei dieser Geschwindigkeit des zu photographierenden Objektes muß die Aufnahme innerhalb $2 \cdot 10^{-5}$ sek erfolgen, um ein scharfes Bild zu ergeben, denn in dieser Zeitspanne ist die Verschiebung des Objektes stets kleiner als 0,1 mm. Eine Beleuchtungsdauer, die den genannten Wert nicht überschreitet, liefert der elektrische Funke. Um aber die kurze Belichtungszeit, bei der nur ein stark unterbelichtetes Bild entstehen würde, einigermaßen auszugleichen, mußte der Funken möglichst intensiv gemacht werden, was dadurch erreicht wurde, daß zur Aufnahme der Entladungsfunken einer Batterie von 6 Leydener Flaschen benutzt wurde, deren Kapazität je 1500 cm betrug. Die Flaschen wurden mit einer Influenzmaschine bis zu etwa 40000 V geladen und gaben durch die Verwendung spitzer Magnesiumelektroden bei einem Elektrodenabstand von etwa 5 mm einen hellen Funken. Das Licht des Funkens wurde mit einem parabolischen Spiegel, in dessen Brennpunkte sich die Elektroden befanden, auf eine ungefähr 300 qcm große Fläche gleichmäßig verteilt. Der Spiegel war so aufgestellt, daß die Projektion seines Brennpunktes nach vorne 10 cm unter dem Wasserspiegel lag. Um die Auslösung des Funkens der Zeit nach regulieren zu können, war in die Zuleitung zum Beleuchtungsfunken noch eine zweite Funken-

strecke eingeschaltet, deren Elektroden aus Aluminiumkugeln von 2 cm Durchmesser bestanden. Der Abstand zwischen den Kugeln war so groß, daß bei der benutzten Spannung eine Entladung spontan nicht erfolgen konnte. Diese wurde erst ausgelöst, wenn die Kugel eines Pendels zwischen den Aluminiumkugeln hindurchschwang. Durch Veränderung der Pendellänge konnte der Moment des Hindurchgehens beliebig eingestellt werden. Damit die Pendelschwingung gleichzeitig mit dem Fallen der Puppe anfangen, haben wir die Pendelkugel und die Puppe mittels dünner Aluminiumfäden in ihren Ausgangslagen fixiert. Die Fäden wurden dann in einen Stromkreis eingeschaltet und brannten beim Stromschluß gleichzeitig durch. Zum Schaltungsschema des Beleuchtungsfunkens sei noch bemerkt, daß die Verbindung zwischen dem Auslösungs- und Beleuchtungsfunkens über einen großen Widerstand (Schiefergriffel) geerdet war. Die Aufnahmen wurden mit einer Kamera $f = 4,5$, die auf die Einfallstelle, also auf die Mitte unseres Wasserbeckens eingestellt war, direkt auf Bromsilberpapier gemacht. Die erhaltenen Bilder, die Negative sind, geben die wirklichen Größenverhältnisse in einem Maßstabe von 1 : 4 wieder.

Mit der eben geschilderten Apparatur wurden die Versuche ausgeführt, welche die Frage klären sollten, wie sich die Geschwindigkeit des einfallenden Körpers im Wasser bei verschiedenen Fallhöhen in Abhängigkeit von der Lage, mit der der Körper auf das Wasser auftrifft, ändert. Zu diesem Zwecke wurde die Puppe abwechselnd in Kopf- und Bauchlage zuerst aus einer Höhe von 125 cm und dann aus einer Höhe von 238 cm aufs Wasser fallengelassen und eine Reihe von photographischen Aufnahmen zu verschiedenen Zeitpunkten gemacht. Sodann wurden die durch Ausmessen der Bilder ermittelten Wegstrecken, die der Körper im Wasser zurückgelegt hatte, als Ordinaten in ein Koordinatensystem eingetragen. Als die dazugehörigen Abszissen wurden die Zeiten genommen, die vom Auftreffen des Körpers auf das Wasser bis zu den einzelnen Aufnahmementen verflossen waren. Diese Zeiten erhielten wir, indem wir von der aus der Pendellänge errechneten Gesamtzeit, die die Zeitspanne vom Beginn des Falles bis zur photographischen Aufnahme umfaßt, die Fallzeit des Körpers in der Luft subtrahierten, wobei natürlich noch berücksichtigt wurde, daß sich die Fallzeiten in der Luft bei Kopf- und Bauchlage nicht völlig decken. Dadurch, daß wir die einzelnen, so erhaltenen Punkte durch Linien vereinigten, bekamen wir das in Abb. 1 wiedergegebene Diagramm. Die ausgezogenen Linien stellen die Fallkurven unseres Körpers im Wasser für die Kopf- und für die Bauchlage bei einer Fallhöhe von 125 cm, die unterbrochenen Linien die entsprechenden Kurven für eine Fallhöhe von 238 cm vor.

Diese Kurvenpaare stimmen, wie die Zeichnung erhellt, gut miteinander überein und zeigen uns damit, daß innerhalb der gewählten Grenzen der Ablauf der Fallbewegung im Wasser von der Fallhöhe in der Luft bzw. von der Geschwindigkeit, mit der der Körper aufs Wasser aufschlägt, so gut wie unabhängig ist. Aus den Kurven können wir entnehmen, welche Tiefe der Körper zu *beliebigen* Zeitmomenten erreicht.

Außerdem können wir aus diesen Kurven die Geschwindigkeit ermitteln, die dem Körper in einem bestimmten Zeitpunkt bzw. in bestimmter Tiefe zukommt. Auf Grund dieser experimentell gewonnenen Daten haben wir nun die Fallgeschwindigkeit unseres Körpers im Wasser

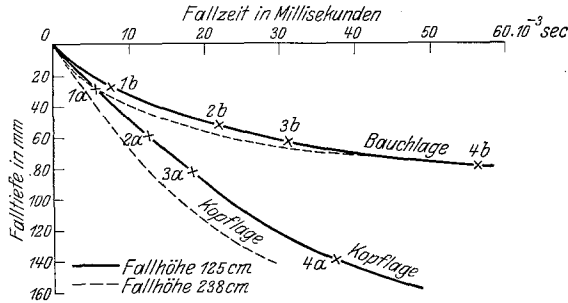


Abb. 1.

in Prozenten der Aufschlagsgeschwindigkeit für die in nachstehender Tabelle verzeichneten Falltiefen berechnet und dabei folgende Resultate erhalten:

Tabelle 1. Fallgeschwindigkeit des Modelles im Wasser (in Prozenten der Aufschlagsgeschwindigkeit).

Falltiefe in cm	Bei Kopflage für die Fallhöhe		Bei Bauchlage für die Fallhöhe	
	von 125 m	von 238 m	von 125 m	von 238 m
2	94	—	52	54
4	88	93	32	32
6	80	85	24	17
8	72	75	(3)	(3)
10	66	58	0	0
12	(54)	(39)	—	—
14	(42)	—	—	—
16	(29)	—	—	—

Der Vergleich der Geschwindigkeitsänderung bei Kopf- und Bauchlage ergibt vor allem die für uns bedeutungsvolle Tatsache, daß die Wucht des Falles bei Bauchlage schon in wenigen Zentimetern Tiefe (unter den gewählten Verhältnissen — bei 10 cm) so gut wie vollständig verbraucht ist. In Kopflage dagegen besitzt der Körper in einer Tiefe von 16 cm noch ca. 29% der Geschwindigkeit, mit der er auf das Wasser aufgetroffen ist. Wie sich die Verzögerung der Fallbewegung bei Kopflage in noch größeren Tiefen gestaltet, konnte nicht ergründet werden, weil bei Kopflage ein Abgleiten der Puppe aus der ursprünglichen Bewegungsrichtung eintrat, sobald sich der Körper einer Tiefe von 14 cm näherte. Bei dieser Gelegenheit sei bemerkt, daß die Kopflage auch schon beim Fall in der Luft häufig nicht erhalten blieb: die in Kopflage

fallende Puppe, die aus einer homogenen Masse hergestellt war, schlug meist in Rücken- oder Bauchlage aufs Wasser auf. Um diese Abweichung von der ursprünglichen Fallage zu eliminieren, mußte der Kopf des Modells durch einen Bleikern beschwert werden, und zwar um so mehr, je größer die Fallhöhe war. Dies durfte, ohne eine wesentliche Verschiebung der Verhältnisse hervorzurufen, gemacht werden, nachdem uns eine gesonderte Versuchsreihe belehrt hatte, daß sogar eine große Veränderung des Gewichtes der Puppe (von 3,83 g bis auf 6,62 g) die Vorgänge nur in ganz geringem Maße beeinflußt.

In der früher zitierten Mitteilung¹ ist auf Grund theoretischer Annahmen die Verzögerung der Bewegung des menschlichen Körpers im Wasser berechnet worden, was zu folgenden Ergebnissen geführt hat:

Tabelle 2. *Fallgeschwindigkeit des menschlichen Körpers im Wasser (in Prozenten der Aufschlaggeschwindigkeit).*

Falltiefe in m	Bei Kopflage	Bei Bauchlage
1	88	27
2	77	7
3	67	2
4	59	1
5	52	0
6	45	
7	40	
8	35	

Bei einer Gegenüberstellung der Zahlenwerte aus den Tabellen 1 und 2 tritt das verschiedene Verhalten der Geschwindigkeitsabnahme, je nachdem ob der Körper in Kopf- oder Bauchlage aufs Wasser aufschlägt, in ganz der gleichen Weise zutage. Insoweit stimmen also Experiment und Theorie überein. Natürlich, eine zahlenmäßige Koinzidenz ist nicht erreicht und war auch gar nicht zu erwarten, schon allein deshalb nicht, weil die Dimensionen, die der theoretischen Berechnung zugrunde liegen, um mehrere Zehnerpotenzen von den Größenverhältnissen des Experimentes abweichen. Außerdem kann durch eine graphische Darstellung auf Grund der in den Tabellen 1 und 2 enthaltenen Werte leicht gezeigt werden, daß auch die funktionelle Abhängigkeit der Geschwindigkeitsabnahme von der erreichten Tiefe nicht die gleiche ist: die sich aus den Zahlenpaaren der Tabelle 2 ergebende e-Kurve realisiert sich beim Modellversuch nicht. Zur Erklärung dieser Diskrepanz ist vor allem darauf hinzuweisen, daß die Ergebnisse unserer Versuche durch Umstände beeinflußt sind, die seinerzeit bei der Bestimmung der Zahlenwerte in der Tabelle 2 notgedrungen außer acht gelassen wurden. Und zwar handelt es sich bei diesen Umständen um jene Geschehnisse, die sich beim Übertritt des Körpers aus der Luft

¹ Siehe Fußnote 1 auf S. 36.

ins Wasser ereignen, Geschehnisse, die die Bewegung des einfallenden Körpers im Wasser sicherlich stark, ja vielleicht sogar entscheidend beeinflussen.

Über die Vorgänge, die beim Einsturz des Körpers ins Wasser statthaben, unterrichtet uns besser als Worte eine Auswahl unserer Momentaufnahmen, wie wir sie in Abb. 2 vereinigt haben. Auf den Bildern, die Negative sind, erscheint die Puppe weiß auf dunklem Hintergrunde. Die verschiedenen Tiefen, bis zu denen das Modell (bei 1a—4a in Kopflage, bei 1b—4b in Bauchlage) ins Wasser eingedrungen ist, sind durch den Abstand der Puppe von der Wasseroberfläche, die auf den Bildern durch den unteren Rand des hellen horizontalen Striches markiert ist, gegeben. Die Zeiten, in denen die Puppe die aus den Photos zu entnehmenden Tiefen erreicht hat, betragen gerechnet vom Momente des Auftreffens auf die Wasseroberfläche:

für die a-Kolonne (Kopflage) 7 (1a), 12 (2a), 19 (3a), 38 (4a) 10^{-3} sek.; für die b-Kolonne (Bauchlage) 9 (1b), 23 (2b), 31 (3b), 56 (4b) 10^{-3} sek.

Die durch die Aufnahmen festgehaltenen Bewegungsphasen sind in Abb. 1 durch Sternchen bezeichnet.

Wenden wir uns nun nach

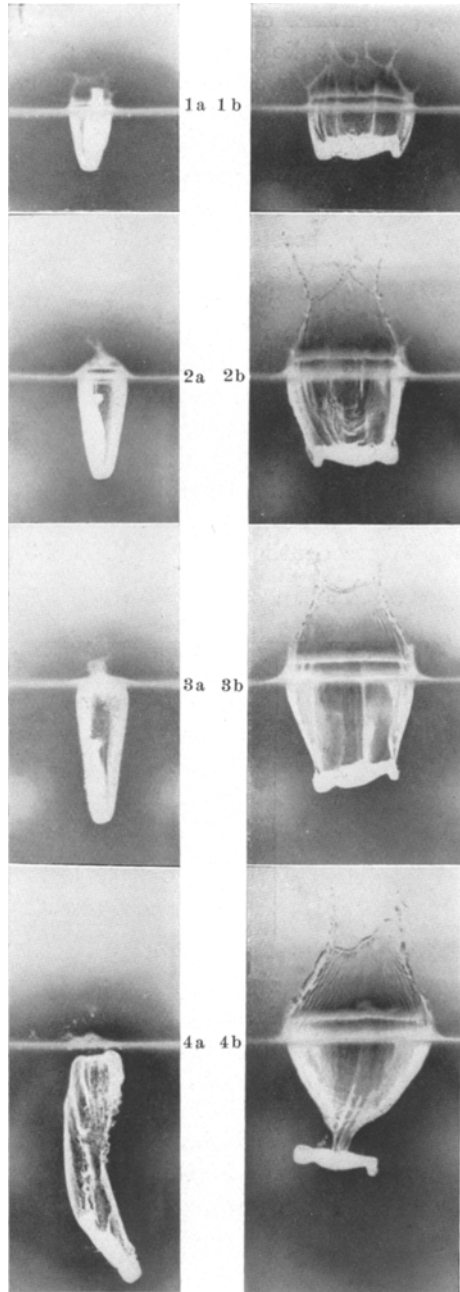
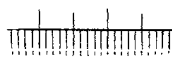


Abb. 2.



Kenntnissnahme dieser Daten den Bildern im einzelnen zu, so wollen wir zunächst die Vorgänge unter und über dem Wasserspiegel getrennt betrachten. Wir sehen das Modell unter dem Wasser von einem Luftmantel umgeben, den es auf seinem Wege im Wasser langsam verliert (vgl. 3b, 4b). Über dem Wasserspiegel erzeugt das durch den einstürzenden Körper verdrängte Wasser eine dünnwandige glocken- oder kronenförmige Fontäne, die sich mit der Zeit in einzelne Tropfen auflöst (vgl. besonders 4a und 4b). Beide — Luftmantel und Fontäne — bilden die sogenannte „Wirbelschlepe“; sie wirkt auf den einfallenden Körper stark bremsend, wird doch die zu ihrer Ausbildung erforderliche Energie der Wucht des fallenden Körpers entzogen¹. Und gerade diese, beim Übergang des Körpers aus der Luft ins Wasser stattfindenden, die Bewegung so sehr hemmenden Vorgänge sind in der theoretischen Berechnung gar nicht enthalten. Sie drücken sich aber in den Ergebnissen des Experimentes aus, wie z. B. für den Fall aus 125 cm Höhe eine Gegenüberstellung der auf Grund der seinerzeit² entwickelten Formel errechneten und der aus den Versuchen abgelesenen Werte deutlich lehrt (vgl. Tab. 3).

Tabelle 3. *Fallgeschwindigkeit des Modelles im Wasser (in Prozenten der Aufschlaggeschwindigkeit).*

Tiefe in cm	Kopflage		Bauchlage	
	berechnet	beobachtet	berechnet	beobachtet
2	95	94	78	52
4	90	88	61	32
6	86	80	47	24
8	82	72	37	(3)
10	78	66	29	0
12	74	(54)	22	—
14	70	(42)	—	—
16	67	(29)	—	—

Die Tabelle zeigt uns klar, daß wir die auf Grund der Formel ermittelten Zahlen nur als Grenzwerte auffassen können, die im Modellversuch und gewiß auch beim Sturz des Menschen nicht erreicht werden. Daraus folgt aber auch, daß die eingangs erwähnte Tiefe von 5 m, bei der laut Theorie die Fallbewegung des mit der Breitseite sinkenden menschlichen Körpers im Wasser endigen soll, überschätzt ist: die Wucht des Körpers ist zweifelsohne schon in geringerer Tiefe als 5 m durch den Aufprall aufs Wasser und durch die Reibung im Wasser vollständig aufgezehrt.

¹ Versuche, diese Energieeinbuße messend zu erfassen, sind im Gange. Äußerer Umstände halber sind sie aber leider noch nicht zum Abschluß gekommen.

² Siehe Fußnote 1 auf S. 36.

Unsere Ausführungen, die Herrn Geheimrat Prof. Dr. *Ungar*, dem Altmeister der Gerichtlichen Medizin auf deutschem Sprachgebiete, anlässlich seines 80. Geburtstagsfestes als Zeichen unserer aufrichtigen Verehrung gewidmet werden, bestätigen also vollinhaltlich die auf theoretischem Wege gewonnenen Schlußfolgerungen der in der Einleitung zitierten Abhandlung. Sie liefern aber auch noch — und dies erscheint uns als ihr wesentliches Ergebnis — eine experimentell gefestigte Stütze für unsere durch die Problemstellung bedingte indirekte Beweisführung, die uns jeglichen Zweifel bezüglich der Richtigkeit der Behauptung, daß unter Umständen beim Fall eines Menschen ins Wasser aus großer Höhe selbst Knochenbrüche durch das Aufschlagen des Körpers aufs Wasser entstehen können, benimmt.
