

3. Frakturen

3.1. Arten der Schädelfrakturen

Schädelbrüche nach einem starren Schema einzuordnen ist nach O. Prokop nicht möglich.

„Trotzdem hat es sich bewährt, folgende Gliederung einzuteilen:

- a) geformte Brüche (Impressionen)
- b) als Übergangsformen zwischen geformten und ungeformten Brüchen, die „Terrassenbrüche“
- c) ungeformte Brüche (Biegungs- und Berstungsbrüche).“ (O. Prokop, 1975)

Zu erwähnen wären noch die Contrecoup- Frakturen. Diese treten vorwiegend in der vorderen Schädelgrube auf. Contrecoup- Frakturen sind indirekte Frakturen an der der Einwirkung gegenüberliegenden Seite des Schädels.

K. Sellier und R. Müller haben die auftretenden Kräfte, die zu einer Contrecoup- Verletzung führen können 1960 anhand eines Flüssigkeitsgefüllten Kugelmodells untersucht.

P.M. Hein und E. Schulz konnten jedoch bei Stürzen keine Contrecoup- Frakturen der vorderen Schädelgrube finden, ohne dass dabei auch eine Fraktur an der eigentlichen Aufschlagstelle gefunden werden konnte: „We could not find any contrecoup fractures without a simultaneous fracture in the area of the point of impact. All contrecoup fracture were accombaied by a fracture at the site of impact on the head.“ (P.M. Hein, E. Schulz, 1990)

3.1.1 Lochbruch, geformter Bruch

Wenn der Schädel bei einem Sturz auf eine kleine Fläche auftrifft und dadurch die Energie dieser Kollision auf einer kleinen Fläche auf den Schädel übertragen wird, so kann ein Teilstück der Schädelkalotte wie ausgestanzt in das Innere des Schädels gedrückt werden.

Dabei ist es nach A. Paltauf, 1888, teilweise so, dass die Kontur der kleinen Aufschlagfläche in dem entstehenden Lochbruch wiedergegeben wird. Das ist jedoch nur dann so, wenn diese Fläche maximal 4x4 cm groß ist. Wird diese Größe der Aufschlagfläche überschritten, wird ein Lochbruch nicht mit glatten Kanten entstehen, sondern nach O. Prokops Ansicht, 1975, übergehen in einen Terrassenbruch.

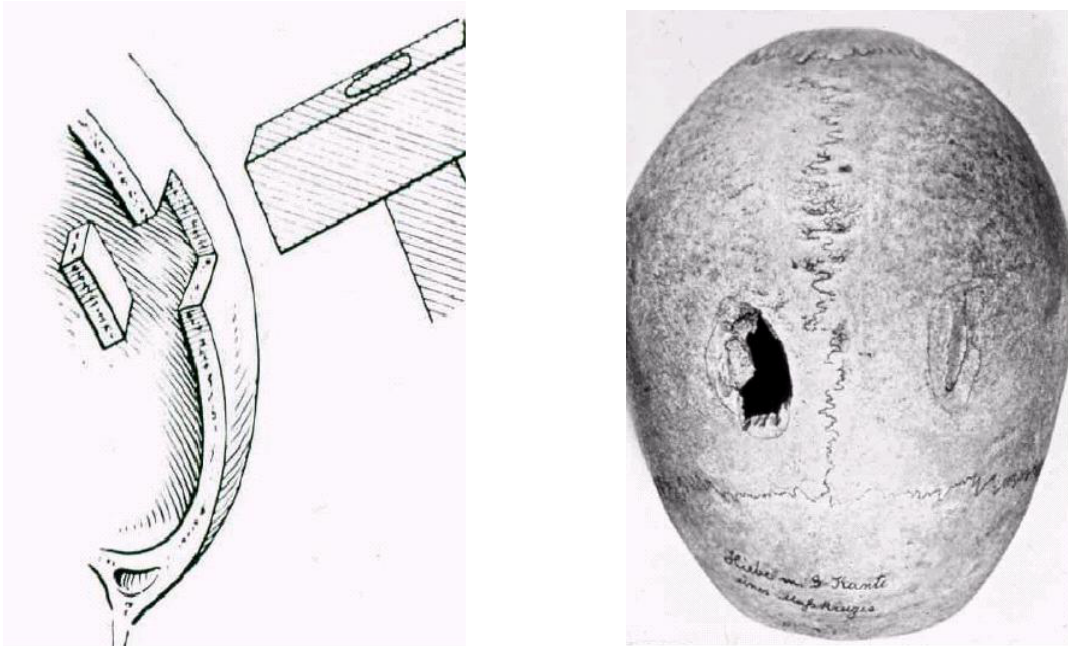


Abbildung 4: Skizze und Foto eines Lochbruches: Die Ränder sind scharf begrenzt und können der Kontur der Kontaktfläche gleichen. Nach O. Prokop kann es sich statt einem Hammer auch um einen kleinen Stein auf dem Untergrund handeln. (www.uni-essen.de/rechtsmedizin/pdf/stumpfgewalt_web.pdf, 2005)

3.1.2 Terrassenbruch

Trifft der Schädel mit einer relativ kleinen Fläche zusammen, die die Tangente der Schädeloberfläche jedoch nicht senkrecht trifft, sondern schräg oder ist diese Fläche größer als 4x4 cm, dann entsteht ein Terrassenbruch.

Dabei wird ein Teil der Schädelkalotte wie bei einem Lochbruch ausgestanzt und imprimiert; an einer Seite jedoch brechen kleine parallele Teilstücke aus der Schädelkalotte und bilden terrassenstufenartig eine Verbindung zwischen der ursprünglichen Schädeloberfläche und dem eingedrückten Teilstück.

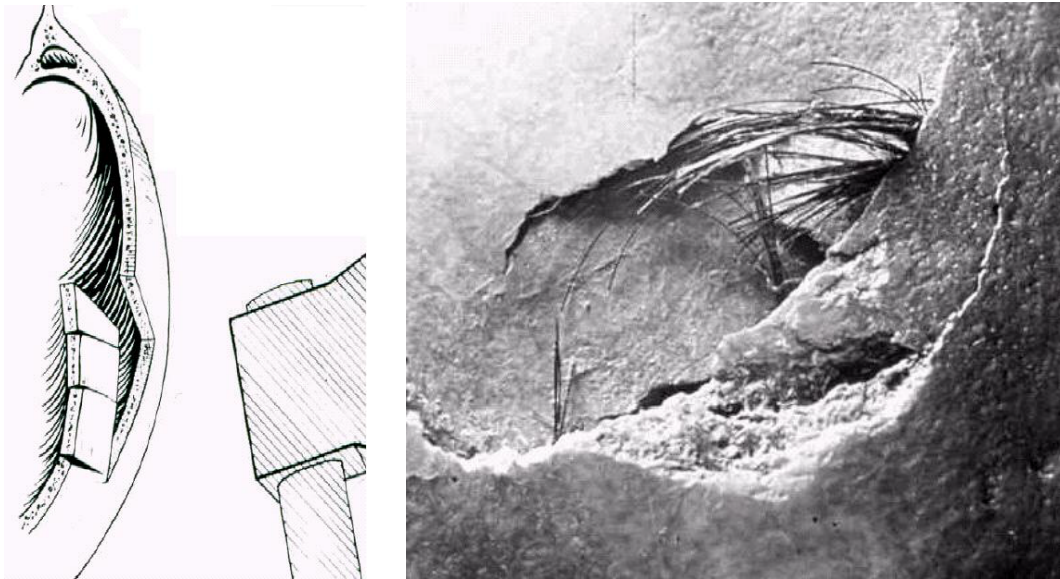
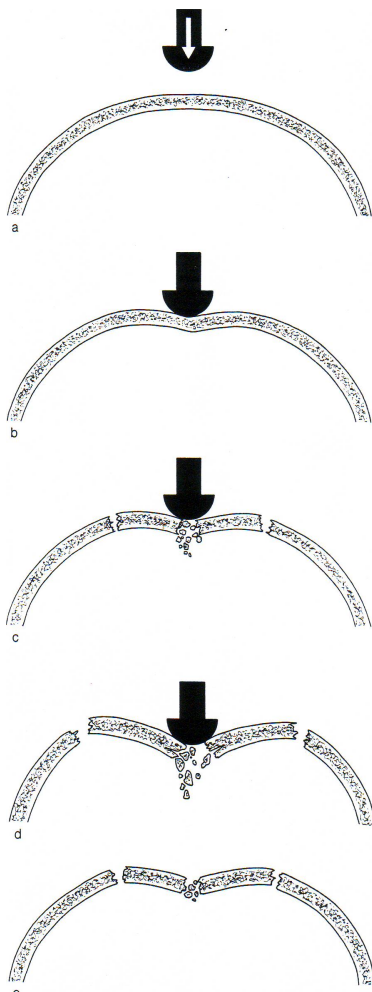


Abbildung 5: Skizze und Foto eines Terrassenbruches: Die Schädeloberfläche wird nicht senkrecht getroffen (www.uni-essen.de/rechtsmedizin/pdf/stumpfgewalt_web.pdf, 2005)

3.1.3 Biegungsbruch



Wenn der Schädel mit einer Fläche kollidiert, so wird er an der Stelle des Aufschlages eingebogen. Dabei gerät die Tabula interna unter dieser Fläche unter Zugbelastung. Wenn diese Einbiegung zu stark und damit die Zugbelastung zu groß ist, dann kommt es zum Zerreißen der Tabula interna unter der Kollisionsfläche.

Die Tabula externa wird in der Nachbarschaft der Kollisionsfläche auf Zug belastet und würde bei Überschreitung ihrer Zugfestigkeit frakturieren. Diese Fraktur, die auf die Biegeüberlastung der Tabula externa zurückzuführen ist, verläuft kreisbogenförmig um die Kollisionsfläche herum. Diesen Vorgang verdeutlicht die Zeichnung.

Abbildung 6: Entstehung eines Biegungsbruches: Durch Einbiegung der Schädeloberfläche gerät die Tabula externa konzentrisch um die Einwirkungsstelle unter Zugbelastung. Die Biegungsfrakturen sind kreisförmig (aus H.- G. Bull, 1989)

O. Prokop beschreibt beispielhaft den Vorgang als „Auffallen auf einen Gegenstand (zum Beispiel spitzen Stein usw.), so dass lokalisierte Gewalt einwirkt. Das Gleiche wäre zu erwarten, wenn ein spitzer Stein gegen den Schädel geworfen wird. Es erfolgt ein Biegungs- oder Ringbruch. Rings um den Ort der Gewalteinwirkung beobachtet man konzentrisch angeordnete Brüche. Die entstehenden Ringe zeigen meist auch radiär Berstungsbrüche (aber nicht immer). Zuerst bricht der mechanisch am stärksten beanspruchte Teil: die Tabula interna. Wird die Elastizität weiter überschritten, kommt es zu „durchgehenden“ Ringbrüchen oder wenigstens Fissuren.“ (O. Prokop, 1975)

O. Prokop zeigt Biegungsbrüche als Teil von Globusbrüchen (s. 3.1.5). Er bezeichnet sie teilweise auch als Äquatorialbrüche.

3.1.4 Berstungsbruch

„Ist die einwirkende Gewalt flächenhaft, so tritt ein Berstungsbruch in Erscheinung, der im Gegensatz zum Biegungsbruch ein „indirekter“ Bruch ist. Er ist die Folge der Verformung des ganzen Schädels, nicht wie der Biegungsbruch nur eines Teils. Da die knöchernen Schädelkapsel in ein Ellipsoid verwandelt wird, wird es zu einer Dehnungs- bzw. Zugbeanspruchung kommen, die eine Fraktur bewirkt, welche in Druckrichtung oder mindestens der Druckachse parallel liegt.“ (O. Prokop, 1975)

Die auf den Schädel einwirkende Kraft des Aufpralles wird bei dieser Art einer Fraktur durch die Schädeloberfläche vektoriell verteilt. Dabei wird der Schädel verformt und es kommt es zu einer Zugbelastung quer zur ursprünglichen Kraftrichtung. Infolge dieser Zugbeanspruchung berstet der Schädel. Die Berstungsfraktur verläuft dann parallel zu der einwirkenden Kraft. Gezeigt wurde dieser Mechanismus zunächst an der Schädelbasis.

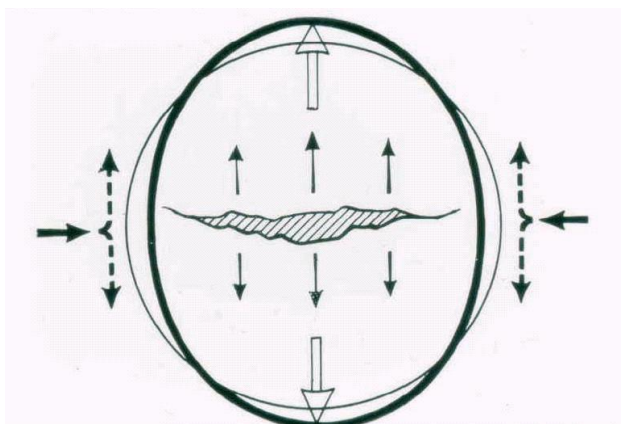


Abbildung 7: Entstehungsmechanismus einer Berstungsfraktur. Durch die einwirkende Kraft wird der Schädel verformt und es entstehen Zugkräfte quer zur einwirkenden Kraft. Die daraus resultierende Fraktur liegt parallel zur Achse dieser einwirkenden Kraft. (http://www.uni-essen.de/rechtsmedizin/pdf/stumpfgewalt_web.pdf, 2005)

3.1.5 Globusbruch

Der Mechanismus der Einbiegung des Schädels verstärkt sich dadurch, dass sich die Kalotte nicht nur an der Aufschlagstelle nach innen einbiegt, sondern diese Biegung setzt sich wellenartig in die Umgebung der Aufschlagstelle fort, sodass sich die direkt benachbarten Regionen der Kalotte nach außen biegen.

Bei diesen Ausbiegungen sollen Frakturen der Tabula externa beginnen, welche sich als Berstungslinien konzentrisch auf das Zentrum der Aufschlagfläche zu bewegen. "Some fractures may occur from outbending following the initial inbending of the skull." (E. S. Gurdjian, 1947)

Treten nun diese vom Zentrum ausgehenden Berstungsfrakturen zusammen mit den kreisbogenförmig um das Zentrum verlaufenden Biegefrakturen auf, wie es O. Prokop beschrieben hat, so nennt man das Globusbruch.

3.1.6 Direkte und indirekte Schädelbrüche

„Man kann die Schädelbrüche auch in direkte und indirekte unterteilen.

Direkte Schädelbrüche liegen an oder gehen aus von der Stelle der Gewalteinwirkung: Impressionsfrakturen, Terrassenbrüche, Biegebrüche (sog. Äquatorialbrüche) sowie bestimmte Berstungsbrüche, bei denen die Bruchlinien strahlenförmig von der Einwirkungsstelle ausgehen (sog. Globusbrüche). Indirekte Schädelbrüche entstehen durch fortgeleitete Druck- und Zugkräfte, entfernt von der Einwirkungsstelle und stellen sich meist als Berstungsbrüche im Bereich der Schädelbasis dar.

In vielen Fällen stumpfer Gewalteinwirkung sind die einzelnen Bruchformen kombiniert.“ (O. Prokop, 1975)

O. Prokop fasst die Entstehungsmechanismen einer Schädelfraktur so zusammen:

„Alle Formen der Schädelbrüche entstehen dann, wenn durch die einwirkende Gewalt die Elastizitätsgrenze des Knochens überschritten wird. Dabei treten Druck- und Zugbelastungen auf. Vielfach wird der Bruchmechanismus erst verständlich, wenn man berücksichtigt, dass der Knochen auf Zugbeanspruchung empfindlicher reagiert als auf Druck.“ (O. Prokop, 1975)

Dabei sind folglich zwei Formen der Berstungsfrakturen zu unterscheiden. Die einen befinden sich innerhalb des Frakturzentrums und sind im Falle eines Globusbruches durch bestehende Biegefrakturen umgeben

Die anderen befinden sich teilweise deutlich außerhalb des Frakturzentrums.

Während das Frakturzentrum vorwiegend durch lokale Verformung des Schädels an der Aufschlagstelle entsteht, liegt die Ursache der langen Berstungsausläufer wie beschrieben in der Verformung des gesamten Schädels.

3.2 Kräfte, die zu einer Schädelfraktur führen

1977 wurden von W.G. Schröder in Deutschland Versuche durchgeführt, welche die Kräfte messen sollten, die notwendig sind, um eine Schädelfraktur zu verursachen.

In dieser bereits erwähnten Untersuchungsreihe „Biomechanik des Schädels“ wurden Prüfkörper aus diversen Regionen der Schädelkalotte auf Zug, auf Druck und auf Biegebelastbarkeit getestet.

Bereits 1970 hatte J.L. Wood mit einem sehr ähnlichen Testaufbau keine aussagekräftigen Ergebnisse erhalten.

3.2.1 Zugfestigkeit

In Teil 3 der Untersuchungsreihe zur „Biomechanik des Schädeldachs“ untersuchten W.G. Schröder 1977 et al. die Zugfestigkeit der Lamina externa, der Diploe und der Lamina interna. Hierbei wurden mit einer Zugprüfmaschine Prüfkörper aus verschiedenen Regionen des Schädeldaches in tangentialer Richtung und nach einzelnen Schichtelementen getrennt auf Zug belastet, bis es zum Zerreißen der Knochenteile kam. Die Prüfkörper bestanden in diesen Versuchen nur aus einer der drei Knochenschichten.

„Die Zugbruchspannung wurde aus dem Quotienten der maximalen Bruchkraft und der Querschnittsfläche der Probekörper an der Bruchstelle ermittelt.“

Dabei wurden Mittelwerte für die Kraft ermittelt, die notwendig ist, um ein Knochenstück zu zerreißen.

„Der Mittelwert der Zugbruchspannung beträgt für die Lamina externa 5,20 kp/ mm² (51,9 MPa) und für die Lamina interna 5,16 kp/ mm² (50,6 MPa). Die maximale Zugbruchspannung ist für die kompakten Schichten annähernd gleich. Die Zugbruchspannung der Diploe beträgt jedoch

nur $1,51 \text{ kp/mm}^2$ ($14,8 \text{ MPa}$) und hat somit nur einen Anteil von knapp 30% der Festigkeit der kompakten Schichten.“

Wie schon im Feinbau der Knochenschichten (s. 2.1) fallen auch in Bezug auf die Zugfestigkeit Geschlechtsunterschiede auf:

„Die Zugfestigkeit der Diploe weist einen hochsignifikanten Einfluss des Geschlechts auf. Die Diploe hat beim weiblichen Geschlecht erheblich höhere Festigkeitswerte als beim männlichen: Zugbruchspannung [... ist] bei Frauen annähernd doppelt so groß wie bei Männern.“ Die Diploe ist bei Frauen, wie beschrieben, auch dicker und hat einen höheren Anteil an Knochensubstanz.

Bezüglich der Altersabhängigkeit der Zugbruchspannung gilt nur für die kompakten Schichten: „Die Zugbruchspannung fällt mit dem Alter bei Frauen leicht ab.“ „Bei den Männern bleibt die Zugbruchspannung annähernd konstant.“ „Für die Diploe ließ sich keine altersabhängige Festigkeitseigenschaft nachweisen“

Deutlich sind die regionalen Unterschiede der Zugfestigkeit der Schädelknochen:

„Sowohl bei der Lamina externa als auch bei der Lamina interna sind die Zugbruchspannungen der Probekörper vom Stirnbein signifikant höher als jene vom Scheitelbein.“ (W.G. Schröder, Teil 3, 1977)

3.2.2 Druckfestigkeit

In Teil 4 von „Biomechanik des Schädeldaches“ untersuchten W.G. Schröder et al. 1977 die Druckbruchspannung. Dabei wurden die einzelnen Schichten des Schädeldaches einzeln und aus verschiedenen Regionen des Schädeldaches in radiärer Richtung druckbelastet, bis ein erstes Nachgeben der Knochensubstanz zu verzeichnen war. Dieses erste Nachgeben wurde gewertet: „Die Mittelwerte der Druckbruchspannung [...] betragen für die Lamina externa $3,99 \text{ kp/mm}^2$ ($39,1 \text{ MPa}$), die Lamina interna $4,22 \text{ kp/mm}^2$ ($41,4 \text{ MPa}$) und die Diploe [...] $2,82 \text{ kp/mm}^2$ ($27,7 \text{ MPa}$).“ (W.G. Schröder, Teil 4, 1977)

Damit unterscheiden sich die beiden kompakten Randschichten untereinander in der Druckbelastbarkeit nur wenig, sind aber deutlich druckstabiler als die Diploe.

Geschlechtsunterschiede finden sich auch bei der Druckbelastbarkeit wie bei der Zugfestigkeit nur an der Diploe:

„An der Diploe ließen sich signifikante Geschlechtsunterschiede der Druckbruchspannung [...] nachweisen. Die mittlere Druckbruchspannung der Probekörper von weiblichen Leichen beträgt 3,24 kp/mm² (31,8 MPa), die von männlichen 2,39 kp/ mm² (23,4 MPa).“ (W.G. Schröder, Teil 4, 1977)

Und auch bei der Druckstabilität der Schädelknochen lässt sich eine Veränderung mit zunehmendem Alter nachweisen.

„[Die] Druckbruchspannung [...] nimmt] mit dem Alter ab [...]. Im Gegensatz zur Zugbruchspannung ließen sich bei der Druckbruchspannung [...] keine signifikanten regionalen oder Seitenunterschiede nachweisen.“ (W.G. Schröder, Teil 4, 1977)

Im Hinblick auf die Druck- und Zugfestigkeit der Tabula externa und Tabula interna hatte Schröder andere Ergebnisse als er erwartet hatte.

„Bei den kompakten Randschichten des Schädeldachs sind im Gegensatz zur Diploe die Druckbruchspannungen niedriger als die Zugbruchspannungen. Dies ist überraschend, da Kummer für die Extremitätenknochen niedrigere Zug- als Druckbruchspannungen angibt.“ (W.G. Schröder, Teil 4, 1977)

Auch O. Prokop ging davon aus, dass zunächst diejenigen Knochenanteile frakturieren, welche auf Zug belastet werden (s. 3.1.3)

Als Ursache für dieses Ergebnis vermutet W.G. Schröder die Richtung, in der die Knochenschichten auf Zug oder auf Druck belastet wurden. „Sicherlich spielt auch die Belastungsrichtung eine Rolle. Die Zugbelastung wurde von uns in tangentialer Richtung, der Druckversuch hingegen in radiärer Richtung vorgenommen.“ (W.G. Schröder, Teil 4, 1977) Zugbelastung oder Druckbelastung, welche bei einer Ein- oder Ausbiegung im Rahmen einer Krafteinwirkung auf den Schädel entstehen, verlaufen beide in tangentialer Richtung.

H.J. Mc Elhaney, der Ende der 1960er Jahre eine im Wesentlichen ähnliche Versuchsanordnung wie W.G. Schröder 1977 nutzte, zeigte, dass es deutliche Unterschiede gibt in der Druckbelastung des Knochens in tangentialer Richtung, also parallel zu Schädeloberfläche, oder in radiärer Richtung, also senkrecht zur Schädeloberfläche.

Er gibt an, dass in tangentialer Richtung eine etwa doppelt so hohe Kompression nötig ist um den Knochen zu frakturieren wie in radiärer Richtung.

B. Brinkmann und B. Madea betonen 2004, dass der Knochen grundsätzlich gegen Druckbelastung stabiler ist als gegen Zugbeanspruchung.

3.2.3 Biegefestigkeit, Biegebruchspannung und Biegebruchmoment

R .P. Hubbard hat 1971 an der Universität of Michigan Schädelknochen bis zum Erreichen einer Fraktur gebogen.

Mit einem im Wesentlichen gleichen Versuchsaufbau hat W. v. d. Berge 1977 ebenfalls Prüfkörper mittels einer Zugprüfmaschine Prüfkörper aus verschiedenen Regionen des Schädeldaches bis zum Erreichen des Bruches gebogen und die dazu erforderliche Kraft gemessen.

„Das maximale Biegemoment (= Biegebruchmoment) errechnet sich als Produkt von Bruchkraft (F_{max}) und Stützweite (L) dividiert durch 4.“ (W. v. d. Berge, 1977)

Auch in der Biegefestigkeit finden sich deutliche Geschlechtsunterschiede in der Belastbarkeit der Knochen.

„Der Gesamtmittelwert der Biegebruchspannung beträgt beim Mann $9,12 \text{ kp/mm}^2$ ($89,5 \text{ MPa}$), bei der Frau $10,0 \text{ kp/mm}^2$ ($98,1 \text{ MPa}$). Diese Werte sind etwa doppelt so hoch wie diejenigen für Zug- und Druckbruchspannungen“ (W.G. Schröder, Teil 6, 1977)

Für das Biegebruchmoment konnte eine Abhängigkeit in Bezug auf den Ort festgestellt werden, von dem der Prüfkörper auf der Kalotte stammt:

„Das mittlere Biegebruchmoment beträgt für das Schädeldach $40,1 \text{ kp mm}$ bzw. 393 mJ pro Millimeter Breite des Prüfkörpers. [...] Stärkster Knochen ist das Os frontale. Es folgt das Os occipitale. Im Os parietale nehmen die Biegemomente von medial nach Lateral ab. Die Nähte sind die am wenigsten widerstandsfähigen Stellen des Schädeldaches.“ (W. v. d. Berge, 1977)

Diese Beobachtung W. v. d. Berges 1977, dass das Os frontale auch der biegeungsstabilste Knochen ist, entspricht der Feststellung der Arbeitsgruppe um E.S. Gurdjian 1947, dass es verschieden großer Krafteinwirkung bedarf, um überhaupt eine Verformung des Schädels auszulösen. Nach E.S. Gurdjian benötigt es etwa doppelt so viel Energie, das Os frontale zu verbiegen, wie für das Os occipitale:

“Threshold deformations in different regions of the skull are obtained with varying energies. For instance, it takes twice as much energy to cause cracks in the frontal as it does in the occipital region.” (E.S. Gurdjian, 1947)

Auch bei der Biegefestigkeit hat das Alter der verstorbenen Person Einfluss:

„Mit zunehmendem Alter nimmt das Biegebruchmoment bei beiden Geschlechtern ab. Der Alterseinfluss ist beim weiblichen Geschlecht ausgeprägter als beim männlichen.“ (W. v. d. Berge, 1977)

Die Dicke des Schädelknochens scheint den Knochen gegen Biegung zu stabilisieren:

„Das Biegebruchmoment steigt mit der Gesamtdicke des Schädeldachs an.“ (W. v. d. Berge, 1977)

Mit der gleichen Versuchsanordnung wie W. v. d. Berge und B. Mai das Biegebruchmoment gemessen haben, hat W.G. Schröder 1977 die mittlere Biegebruchspannung in den gleichen Regionen des Schädeldaches bestimmt:

„Die Tendenz der regionalen Unterschiede der Biegebruchspannung und des Biegebruchmomentes gleichen sich in etwa. Das Os parietale macht jedoch eine Ausnahme. Das Biegebruchmoment fällt von medial nach lateral ab, während die Biegebruchspannung ansteigt.“ (W.G. Schröder, Teil 6, 1977)

Die Unterschiede in der Festigkeit in den verschiedenen Bereichen der Kalotte erklärt W.G. Schröder mit dem Musculus temporalis:

„Der laterale Bereich des Scheitelbeins ist Ursprungsgebiet des stärksten menschlichen Kaumuskel, des Musculus temporalis. Die Lamina externa ist in dieser Region daher besonders großen physiologischen Zugspannungen ausgesetzt.“ (W.G. Schröder, Teil 6, 1977)

3.2.4 Kompression und Impuls

A.P. Gromov gibt 1982 an, dass Pautkin und Matveev 1935 und erneut Matveev 1949 in der damaligen UdSSR erstmalig Angaben der Festigkeitslehre bei der Ermittlung der mechanischen Eigenschaften des menschlichen Kopfes und des Schädels angewandt haben.

Sie führten an Schädeln und Kopfknochen Schlagfestigkeits- und Kompressionsprüfungen unter Einsatz einer Martens- Apparatur, einer hydraulischen Presse und einer Universalprüfmaschine durch. Dabei stellte sich heraus, dass die mittlere Kompressionswiderstandsfähigkeit des Kopfes doppelt so hoch wie die Widerstandsfähigkeit bei Schlageinwirkungen ist.

3.3 Verformung des Schädels unter Krafteinwirkung

3.3.1 Verformungszeiten

E.S. Gurdjian und J.E. Webster führten 1947 Tierversuche mit Hunden durch, wobei sie Längenänderungen bei Verbiegungen der Schädeloberfläche elektronisch oscillographisch ableiteten.

Bei Versuchen mit betäubten und toten Hunden zeigte sich, dass „the measurements with the strain gage of deformations in the skull of the dog under pentobarbital sodium anesthesia were similar to those obtained twenty- four hours after the death of the animal with intracranial contents intact.” (E.S. Gurdjian, 1947)

Das bedeutet, dass die Längenverformung des Hundeschädels unabhängig davon ist, ob das Tier noch lebt oder bereits einige Stunden tot ist.

In Bezug auf den menschlichen Schädel leiteten die Autoren daraus Folgendes ab: “Since strain gage measurements of deformations of the skull were known to be the same in living under pentobarbital sodium anesthesia and in the dead dog with intracranial contents intact, human autopsy material, soon after death, was studied with this technic.” (E.S. Gurdjian, 1947)

Seit bekannt war, dass die Verformung des Schädels bei lebenden und noch nicht lange toten Hunden die gleiche ist, wurden nun auch menschliche Schädel kurz nach dem Tod der Patienten in dieser Technik untersucht.

Hierdurch konnten Verformungszeiten an den menschlichen Schädeln gemessen werden: „On the delivery of a blow to the human skull, the time of the initial deformation varied from 1/5.000 of a second to 1/2.000 of a second. The total elapsed time for the deformation pattern was between 1/200 to 1/250 of a second.” (E.S. Gurdjian, 1947)

Dabei konnte auch gezeigt werden, dass die Verformungszeiten unabhängig von der Art oder Energie der Gewalteinwirkung sind, solange es nicht zu einer Fraktur kommt.

Verglichen wurden Hammerschlag, Ziegelstein und Sturz.: “The pattern of deformation shown by this method is the same irrespective of the energy of the blow. Whether the impact is the result of injury by hammer, brick or fall, the deformation pattern is also the same provided that there is no perforation of the skull from high velocity blows.” (E.S. Gurdjian, 1947)

1958 veröffentlichten F.G. Evans und H.R. Lissner eine Studie, in der sie abgetrennte menschliche Köpfe auf das Instrumentenbrett eines Autos haben fallen lassen. Dabei haben sie den Fall und das Aufschlagen des Schädels mit einer Hochgeschwindigkeitskamera gefilmt. Weiterhin haben sie oscillographisch die Verformungszeiten gemessen.

Die Frakturen, die durch den Aufschlag des Schädels entstanden sind, benötigten verschieden lange Zeit, jedoch nicht länger als 0,012 Sekunden.

F.G. Evans und H.R. Lissner geben auch an, dass etwa 33 bis 75 food pound Energie benötigt werden, um eine Fraktur des Schädels auszulösen. Die restliche Energie wurde in ihren Experimenten für die Verformung der Unterlage, in diesem Fall das Instrumentenbrett eines Autos, benötigt.

3.3.2 Verformungsrichtung

In einem anderen Teil von E.S. Gurdjians Studie, der „Stresscoat“- Studie, wurden Schädel mit einem zuglabilen Lack überzogen. Entstand durch eine Schlagbelastung eine Verformung des Schädels resultierte daraus eine Zugbelastung der Tabula externa. Der darauf gestrichene Lack wurde ebenfalls auf Zug belastet und ist dadurch gerissen. „These cracks demonstrate the paths of the strains following the blow.” (E.S. Gurdjian, 1947) Diese Risse zeigen den Weg der Zugbelastung infolge eines Schlages.

Dabei wurden wiederum betäubte Hunde mit toten Hunden verglichen und es konnte gezeigt werden, dass das Deformationsmuster bei betäubten Hunden annähernd das Gleiche ist, wie wenn das selbe Tier tot ist. Unterschiede existieren im Ausmaß der Risse. “Experimental observations have shown that the deformation patterns in the living animal under anesthesia, in the dead animal with intracranial contents intact and in the dry skull of the same animal are similar. The magnitude of strain may be different, but the paths and directions are the same.” (E.S. Gurdjian, 1947)

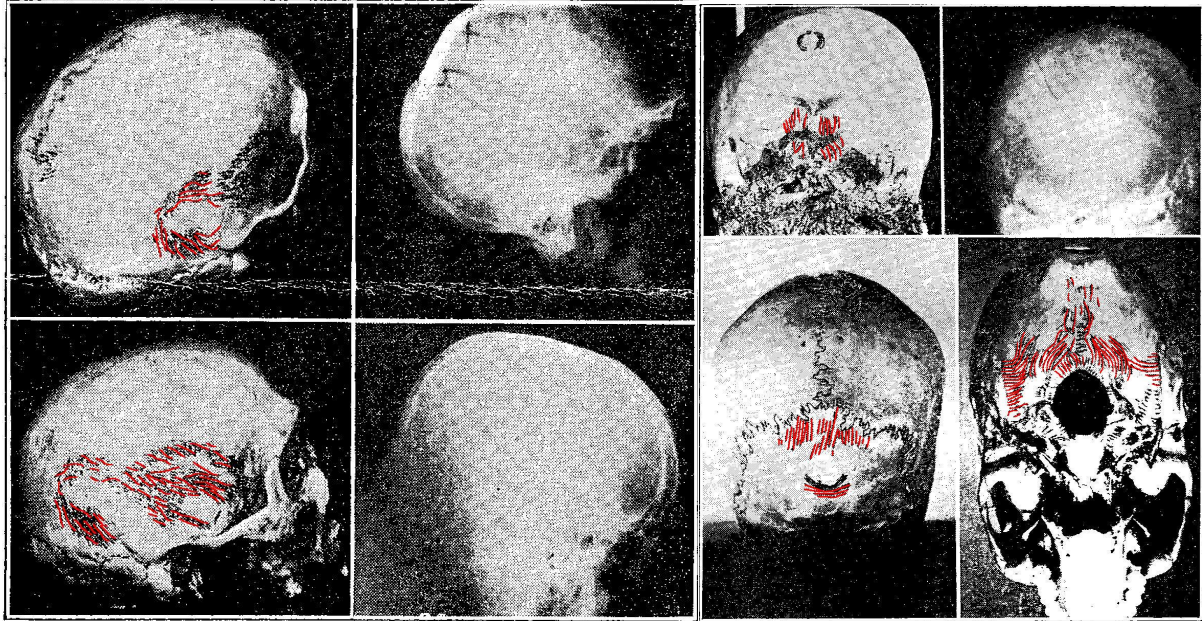


Abbildung 8: Die Linien, an denen der Lack gebrochen ist. Die Risse können die Verformung auch dann zeigen, wenn der Schädel selbst intakt geblieben ist. Die Abbildungen zeigen Lackrisse nach Aufschlägen auf den Hinterkopf (rechts) und auf die Parietalregion (links) (aus E.S. Gurdjian, 1947, Die stress-lines sind rot nachgezeichnet.)

Hieraus folgt, dass man auch für die Experimente, bei denen eine Lackschicht auf die Schädeloberfläche aufgetragen wurde, Schädel von menschlichen Leichen verwenden kann und hierdurch annähernd gleiche Ergebnisse zu erwarten sind, wie bei noch durchblutetem Kopf und Schädel.

In Experimenten, in denen lackierte Schädel Fallversuchen ausgesetzt wurden, konnten die entstandenen Risse im Lack als so genannte Stresslinien aufgezeigt werden. Diese zeigt die Abbildung 8.

Nach Ansicht E.S. Gurdjians und J.E. Websters verlaufen viele Schädelbrüche parallel zu diesen Stresslinien. “Many fractures occur parallel to lines of stress shown in these studies.” (E.S. Gurdjian, 1947)

Daraus leiteten die Autoren auch ab, dass man aus dem Ort und der Richtung einer Schädelfraktur auf den Ort der Krafteinwirkung schließen kann: “From the position an the direktion of the skull fracture, one may be able to guess the area of impact witch caused the fracture.” (E.S. Gurdjian, 1947)

Insbesondere verweisen sie auf die hintere Parietalregion und zeigen, dass die Stresslinien nach vorne und nach unten verlaufen, in gleicher Weise wie auch Frakturlinien.: „Note that the

direction of the cracks in the lacquer are downward and forward toward the temple. [...] also fracture lines extending downward and forward toward the temple on both sides, paralleling the stresscoat lines of crack.” (E.S. Gurdjian, 1947)

1950 verglichen E.S. Gurdjian, J.E. Webster und H.R. Lissner die Stresslinien an lackbeschichteten Schädeln mit Frakturen. Dazu teilten sie die Schädelkalotte in zwölf Regionen ein (s. Abbildung 9).

Sie kamen auch hierdurch zu dem Schluss, dass die Frakturlinien an der gleichen Stelle und in der gleichen Richtung auftreten, wie Stresslinien im Lack. Dadurch ist es auch möglich, anhand der Position der Fraktur die Aufschlagstelle zu benennen.

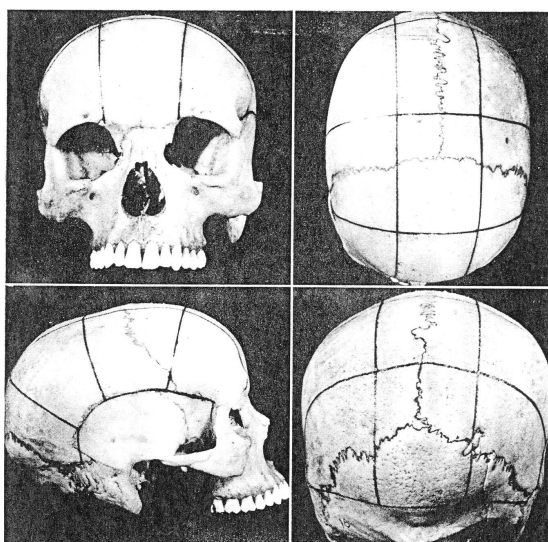


Abbildung 9: Einteilung des Hirnschädels in zwölf Regionen durch E.S. Gurdjian, J.E. Webster und H.R. Lissner (aus E.S. Gurdjian, 1950)

3.4 Puppische- Regel

G. Puppe stellte 1908 die Regel auf, dass der zeitliche Ablauf, wann die einzelnen Frakturlinien eines Bruchsystems im Verhältnis zueinander entstanden sind, an den Berührungspunkten der einzelnen Frakturlinien abzulesen ist. Wenn eine Frakturlinie an der anderen stoppt, so ist die durchgehend verlaufende Frakturlinie, die zuerst frakturierte und die gestoppte die zeitlich später entstandene Frakturlinie.

O. Prokop demonstriert diese Regel in seinem Atlas mit Fotos.

S. Berg demonstriert sie in seinem Lehrbuch anhand einer Glasplatte und weist darauf hin, dass die Puppesche Regel auch bei Kopfplatzwunden angewendet werden kann. (S. Berg, 1975)

Dass die Puppesche Regel auch bei Schussverletzungen angewendet werden kann, zeigen B. Madea, C. Henßge und H.B. Lockhoven 1986 an Kasuistiken des Institutes für Rechtsmedizin der Universität Köln.

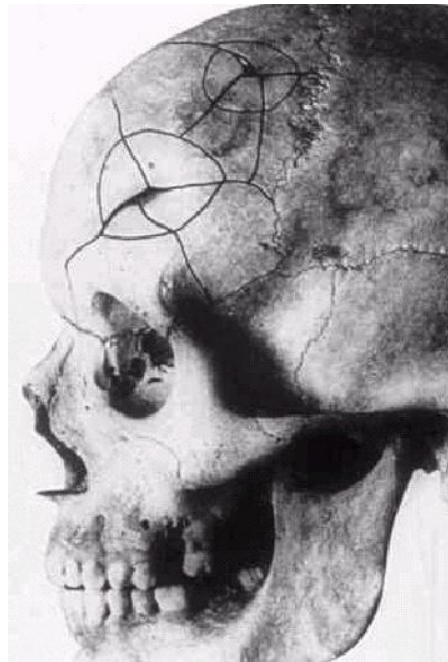


Abbildung 10: Die Abbildung zeigt Globusbrüche. Sie bestehen aus kreisförmigen Biegungsbrüchen und strahlenförmigen Berstungsbrüchen. Gleichzeitig ist hier die Puppesche Regel demonstriert: die untere Fraktur bestand zuerst. (aus O. Prokop, 1975)

3.5 Hutkrempe regel

Wenn man sich auf der Schädeloberfläche eine horizontale Linie denkt, in der Ebene in welcher der Schädel den größten Umfang besitzt, so ist dieses etwa die Linie, auf der ein Hut oder ähnliche Kopfbedeckung ruhen würde.

Diese Linie wird Hutkrempe linie genannt und befindet sich etwa auf halber Höhe des Hirnschädels.

Entsprechend der Hutkrempe regel ist bei einem Sturz die Aufschlagstelle des Schädels in der Nähe dieser Linie zu suchen. Eine Einwirkungsstelle deutlich oberhalb dieser Hutkrempe linie spricht dafür, dass der Betroffene nicht aus dem Stand gestürzt ist, sondern geschlagen wurde.

Schematisch zeigt das die Abbildung.

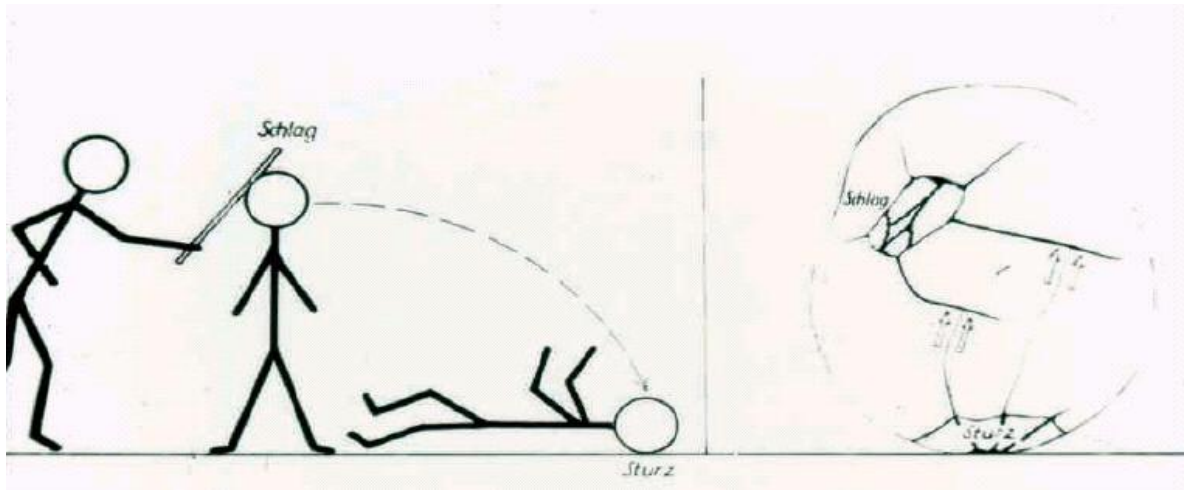


Abbildung 11: Schematische Darstellung der Hutkrempe regel. Sie zeigt die Rekonstruktion eines Taterganges (www.uni-essen.de/rechtsmedizin/pdf/stumpfgewalt_web.pdf, 2005)

Diese Regel ist nicht anwendbar, wenn der Sturz aus einer erhöhten Ausgangsposition heraus, also bei einem Sturz vom Fahrrad oder einem Sturz aus der Höhe geschehen ist. In diesen Fällen kann der Betroffene sich im Fallen so gedreht haben, dass das Schädeldach den als Aufschlagfläche angenommenen Fußboden erreichen konnte.