

Aus dem Institut für Rechtsmedizin  
der Ludwigs-Maximilians- Universität München

Vorstand: Prof. Dr. med. Matthias Graw

Analyse von Maßkrugschlägen hinsichtlich potentiell  
lebensgefährlicher  
Verletzungen

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Petra Dorfner  
aus  
Straubing

2014

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Matthias Graw

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Friedrich-Wilhelm Kreth

Mitbetreuung durch den  
Promovierten Mitarbeiter: Doc.Mgr. Jiri Adamec, Ph.D.

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser, FACR, FRCR

Tag der mündlichen Prüfung: 06.02.2014

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Theoretische Grundlagen
  - 2.1. Gewaltformen
    - 2.1.1. Stumpfe Gewalt
    - 2.1.2. Scharfe und halbscharfe Gewalt
  - 2.2. Anatomie des Kopfes
- 2.3. Kopfverletzungen und Verletzungsmechanismen
  - 2.3.1. Mögliche Kopfverletzungen
    - 2.3.1.1. Weichteilverletzung
    - 2.3.1.2. Frakturen
    - 2.3.1.3. Gehirnverletzungen
  - 2.3.2. Mögliche Verletzungsmechanismen
    - 2.3.2.1. Statische Gewalteinwirkung
    - 2.3.2.2. Dynamische Gewalteinwirkung
3. Studienlage zur Toleranzgrenze von Schädelfrakturen
4. Voruntersuchung zur Biomechanik des Maßkrugschlages
5. Fragestellung
6. Methodik
7. Ergebnisse
  - 7.1. Auswertung der gerichtlichen Gutachten aus dem Archiv der Rechtsmedizin München
  - 7.2. Auswertung der Laborversuche
8. Diskussion
  - 8.1. Details der Kraftübertragung auf den Schädel
  - 8.2. Reales Verletzungspotential durch einen Maßkrugschlag
  - 8.3. Bemerkungen zur juristischen Relevanz
9. Schlussfolgerung
10. Literaturverzeichnis
11. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis
12. Erklärung
13. Lebenslauf

## 1. Einleitung

Bei körperlichen Auseinandersetzungen werden oft Trinkgläser und Flaschen als Waffe eingesetzt. Meist geschieht dies in öffentlichen Schankbetrieben bei Streitigkeiten zwischen in der Regel alkoholisierten Kontrahenten.

Verletzungen durch Maßkrugschläge sind allgemein eher eine Seltenheit, treten allerdings in Bayern im Zusammenhang mit Volksfesten mit einer gewissen Regelmäßigkeit häufiger auf.

Im Polizeibericht [1] zum Münchner Oktoberfest 2012 wurden bei zahlreichen Schlägereien 66 Auseinandersetzungen registriert, bei denen Maßkrüge als Schlagwerkzeug oder Wurfgeschoss eingesetzt wurden und dabei teils zu lebensgefährlichen Verletzungen der Betroffenen führten. Die Zahl übersteigt nach Angaben der Polizei die „Wiesn“ vom Vorjahr mit 55 Maßkrugschlägereien deutlich.

Lt. Polizeistatistik des Polizeipräsidiums München, Abteilung Einsatz – E 32, werden in München und Umgebung jährlich zwischen 70-90 Maßkrugschläge als Delikt der gefährlichen Körperverletzung zur Anzeige gebracht, wobei die Dunkelziffer wesentlich höher geschätzt wird. In Dreiviertel der Fälle wurde der Schlag gegen den Kopf ausgeführt. In den vorliegenden Statistiken von 2009/2010 kam es dabei zu keiner tödlichen Verletzung.

Im Allgemeinen geschieht jede dritte Gewalttat unter dem Einfluss von Alkohol.

Bei Gewaltdelikten, die eine Körperverletzung nach sich ziehen und strafrechtlich verfolgt werden, gehört es zur Routine der forensischen Praxis, Gutachten zur Rekonstruktion von Tathergang und Verletzungsmechanismen zu erstellen. Ferner wird die konkret erfolgte Behandlung (Angriff) hinsichtlich der damit etwaig einhergehenden Lebensgefahr für den Geschädigten beurteilt.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den forensisch biomechanischen Aspekten von Maßkrugschlägen, um deren Verletzungsgefahr abzuschätzen. Eine Untersuchung zum Bruchverhalten von Maßkrügen wird hier erstmalig durchgeführt.

## **2. Theoretische Grundlagen**

In diesem Kapitel wird auf die Einteilung der Gewaltformen in der Rechtsmedizin eingegangen, gefolgt von einem Überblick der Anatomie des Schädeldaches, der Beschreibung möglicher Kopfverletzungen und zugrunde liegender Verletzungsmechanismen.

### **2.1. Gewaltformen**

In der Traumatologie wird zwischen stumpfer, scharfer und halbscharfer Gewalteinwirkung unterschieden. Je nach Form und Fläche des einwirkenden Gegenstandes wird das Verletzungsbild beschrieben, um Rückschlüsse auf die Art der Entstehung zu ziehen.

Wirken breitflächige, stumpfkantige Schlagwerkzeugflächen auf das Opfer ein, handelt es sich um stumpfe Gewalt, bei spitzen oder scharfkantigen Gegenständen um scharfe Gewalt.

Stumpfe Gegenstände können durch Einwirkung von nahezu spitz- oder rechtwinkligen Kanten Verletzungen im Sinne halbscharfer Gewalt erzeugen. Ungeschliffene Gegenstände, wie z.B. Draht oder Scherben, können die Merkmale beider Gewalteinwirkungen aufweisen [2].

#### **2.1.1. Stumpfe Gewalt**

Stumpfe Traumen resultieren entweder aus dem Aufprall eines Gegenstandes auf das Opfer (z.B. Schlag, Tritt, Stoß) oder einem Aufprall auf einer entsprechenden Fläche (z.B. Wand, Beton).

In Abhängigkeit vom benutzten Tatwerkzeug, seinem Auftreffwinkel, seiner Krafteinwirkung, der unterschiedlichen Reaktion des Opfers und der betroffenen Körperregion tritt diese Gewaltform, im Gegensatz zur scharfen Gewalt, sehr vielgestaltig auf.

An Verletzungen finden sich beim stumpfen Trauma beispielsweise Schürfwunden, Hämatome, Blutungen, Prellungen, Quetsch-Risswunden, Knochenbrüche und Organrupturen [2].

Die Wundform alleine gibt meist keinen definitiven Aufschluss über das verwendete Schlagwerkzeug. Es ist Aufgabe des Gutachters zu prüfen, ob die vorliegende Verletzung durch das mutmaßliche Tatwerkzeug verursacht wurde, bzw. ob ein konkretes Objekt als Tatwerkzeug in Frage kommt.

Verletzungen wie Schürfungen, Quetsch-Risswunden und Hämatome stimmen in ihrer Form nicht zwingend mit dem Schlagwerkzeug überein. So werden Quetsch-Risswunden z.B. in ihrem Verlauf auch von den Spaltbarkeitslinien der Haut mitbestimmt, Hämatome von anatomischen Strukturen wie Faszien oder von der Körperhaltung. Der Wundverlauf ist auch von der Wölbung des getroffenen Körperteils und der Hautelastizität abhängig.

Quetsch-Risswunden weisen unregelmäßige Wundränder und Gewebsbrücken auf. Das Gewebe wird erst durch Druck von außen gegen ein Widerlager (z.B. Schädelknochen) gequetscht und reißt dann ein.

### **2.1.2. Scharfe und halbscharfe Gewalt**

Typische Verletzungen sind Stich- und Schnittwunden durch das Einwirken von Messern, Glasscherben und anderen scharfen Gegenständen.

Die Schnittwunde zeichnet sich durch einen geradlinigen Verlauf, glatte Ränder und eine glatte Durchtrennung tiefer liegender Schichten aus, wobei die Länge größer ist als die Tiefe. Bei vitalem Gewebe und frühpostmortalen Verletzungen retrahieren die Wundränder; dies führt zu einem Klaffen der Wundränder und einem V-förmigen Querschnitt. Abweichungen ergeben sich allerdings bei stumpfen, nicht glattrandigen Werkzeugen, bei gegenläufigen Schnittbewegungen oder faltigem Gewebe.

Bei der Stichwunde verläuft die Gewebsdurchtrennung kanalartig in die Tiefe, die Oberhaut kann vielgestaltig perforiert sein, die Wundwinkel sind oft charakteristisch, z.B. von Messern schneidenwärts in der Regel spitz und zum Messerrücken eher rundlich oder V-förmig gegabelt. Der Stichkanal ist tiefer als die Hautlücke lang.

Unter halbscharfer Gewalt werden Verletzungen zusammengefasst, die sowohl Merkmale der stumpfen, als auch der scharfen Gewalteinwirkung aufweisen. So finden sich neben glattrandigen Wundrändern auch Gewebsbrücken in den tieferen Hautschichten [3].

## 2.2. Anatomie des Kopfes

Das Schädeldach wird überzogen von der Kopfschwarte (Skalp), die eine funktionelle Einheit von Epidermis, Dermis, Subcutis und Sehnenhaube (Galea aponeurotica) bildet. Das lockere subaponeurotische Bindegewebe verbindet hierbei die Sehnenhaube mit dem Periost und ermöglicht so die relativ gute Beweglichkeit der Kopfhaut, die eine Dicke von 3-7 mm aufweist.

Das Schädeldach ist aus mehreren z.T. paarigen Knochen zusammengesetzt (Os frontale, O. parietale, O. temporale und O. occipitale), die beim Erwachsenen in ihrer Dicke erheblich variieren können [22], so misst das Schläfenbein teils weniger als 1 mm, Stirn- oder Hinterhauptsbein können 10-15 mm oder mehr aufweisen.

Die platten Knochenschuppen der Schädelkalotte sind 3-schichtig aufgebaut. Zwischen der kompakten äußeren (Tabula externa) und inneren Schicht (Tabula interna) liegt ein spongioser Markraum (Diploe), der aus kleinen Trabekeln aufgebaut ist. Die Diploe ist sehr gefäßreich, die Brechet-Venen durchdringen den flachen Schädelknochen an ihren Nähten und stehen mit den Venen der Kopfschwarte einerseits und den Duravenen andererseits in Verbindung. Außerdem bestehen auch Verbindungen zum Sinus sagitalis superior und Sinus cavernosus [4].

Hirnhäute (Meningen) sind Bindegewebsschichten, die das Gehirn umgeben und ins Rückenmark übergehen. Von außen nach innen grenzt die Dura mater, eine harte fasrige Membran zusammen mit der Arachnoidea (Spinnengewebshaut) an den Subduralraum mit seinen Brückenvenen. Unter der Arachnoidea liegt der Subarachnoidalraum, hier zirkuliert der Liquor in Kommunikation mit den Ventrikeln. Die Pia mater bedeckt als innerste Schicht das Gehirn und das Rückenmark.

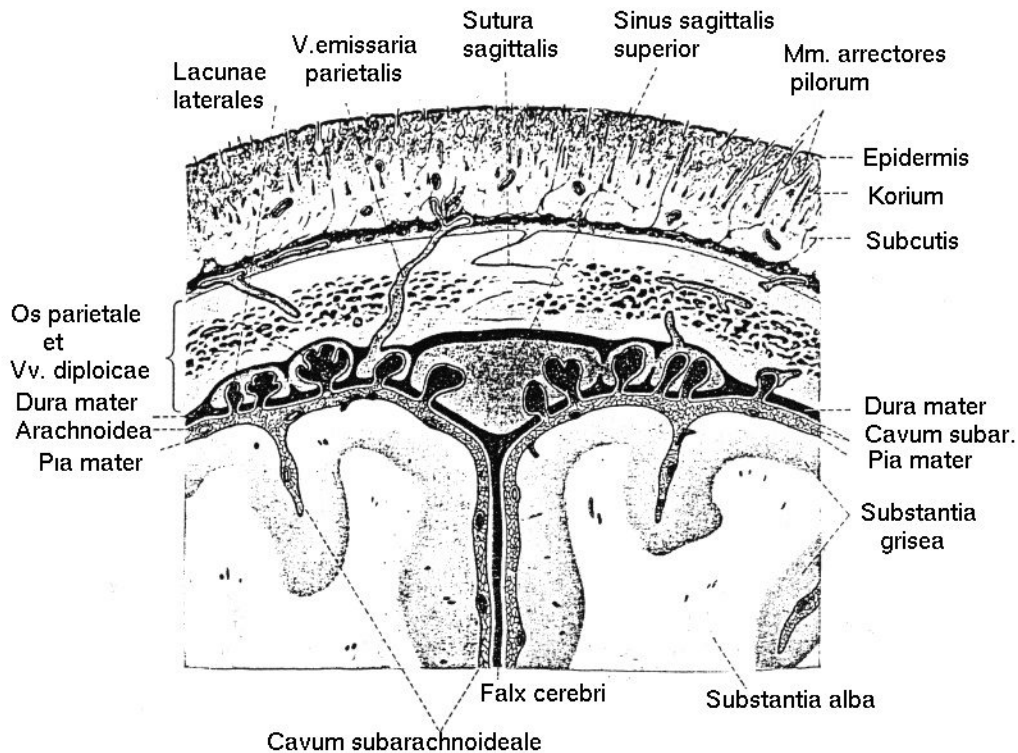


Abb. 1 Schematischer Schnitt durch den Schädel (Benninghoff 1979).

Schematischer Schnitt durch den Schädel. Die Außenhaut ist 3-7 mm dick, die drei Knochenschichten etwa 5-10 mm. Nach innen folgen die Innenhäute, der Cavum subarachnoideale ist mit Liquor angefüllt. Die Hirnrinde (Substantia grisea) ist 1-4 mm dick, darunter folgt das mehrere Millimeter dicke Marklager (Substantia alba).

### 2.3. Kopfverletzungen und Verletzungsmechanismen

Die folgenreichsten Verletzungen bei Gewalteinwirkung im Kopfbereich sind in der Regel solche, die Schädel, Gehirn und Meningen betreffen. Schädelfrakturen können mit oder ohne Hirnsubstanzdefekte in Erscheinung treten. Die reine Schädelfraktur ist an sich neuropathologisch nicht von Bedeutung, wenn daraus keine Verletzung von Gehirn oder Hirnhäute resultiert. Eine geschlossene Fraktur liegt vor, wenn die darunter liegende harte Hirnhaut (Dura mater) unverletzt bleibt; wird diese durchtrennt, handelt es sich um eine offene Fraktur bzw. um ein offenes Schädel-Hirn-Trauma.



## 2.3.1 Mögliche Kopfverletzungen

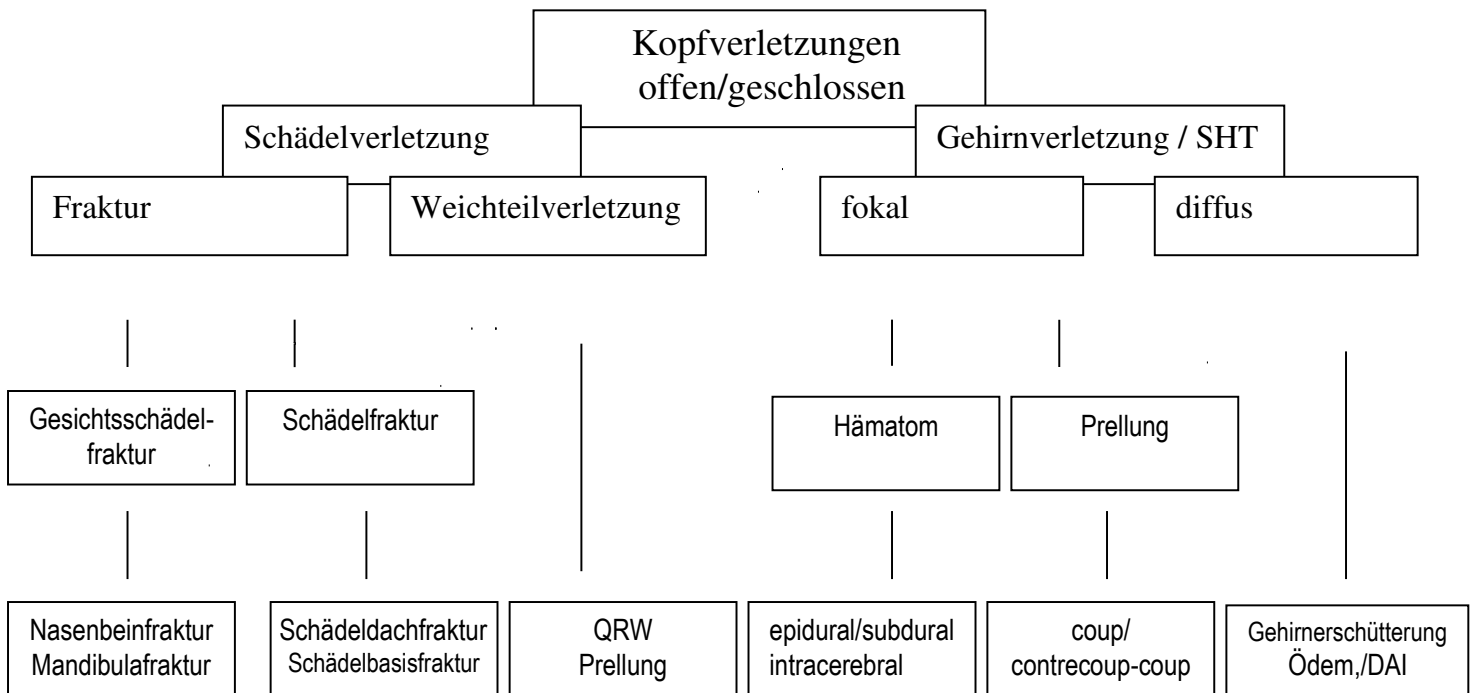


Abb 2. Einteilung der Kopfverletzungen modifiziert nach Schmidt et al (2007)

### 2.3.1.1. Weichteilverletzung

Durch direkte Gewalteinwirkung auf den Kopf entstehen oft stark blutende Quetsch-Riss- oder Schnittwunden, die bei Gefäßverletzungen zu einem erheblichen Blutverlust bis hin zum hypovolämischen Schock führen können.

Am häufigsten kommen Hämatome mit Schwellungen vor, die umgangssprachlich als „Beulen“ bezeichnet werden, oft schmerzhaft sind und nach kurzer Zeit resorbiert werden.

Gefäßeinrisse zwischen der Galea aponeurotica und dem Periost des Schädels führen zu einem subaponeurotischem Hämatom. Da die Venen der Kopfschwarte, des Schädelknochens und des Gehirns miteinander verbunden sind, können als Verletzungsfolge Abszesse, Osteomyelitiden, Otitiden, Meningitiden sowie Hirnabszesse entstehen [4]. Kopfschwartenverletzungen verheilen in über 95% der Fälle komplikationslos, die Gefahr der Wundinfektion liegt bei weniger als 5% [5], diese können jedoch tödlich verlaufen.

### **2.3.1.2. Frakturen:**

Frakturen des knöchernen Schädels werden nach ihrer Lokalisation in Gesichtsschädel-, Schädeldach- und Schädelbasisfrakturen unterteilt.

#### **Gesichtsschädelfraktur**

Am häufigsten sind Gesichtsschädelfrakturen die Folge direkter Gewalteinwirkung z.B. durch Schlag, Sturz oder Verkehrsunfällen, indirekte Frakturen entstehen oft im Bereich von Mandibula und Orbitawänden. Sie werden je nach Lokalisation in Orbita-, Jochbein-, Oberkiefer-, Unterkiefer- (werden zur Mittelgesichtsfraktur zusammengefasst) und Nasenbeinfraktur eingeteilt.

#### **Schädeldach- und Schädelbasisfrakturen**

Eine Schädelfraktur entsteht durch lokale oder globale Deformation infolge einer Kräfteeinwirkung.

Direkte Frakturen entstehen lokal am Ort der Gewalteinwirkung durch geformte Gewalteinwirkung, wie z.B. Schlag mit einem Werkzeug. Indirekte Frakturen resultieren aus einer großflächigen Gewalteinwirkung, wie z.B. Sturz auf eine unnachgiebige Fläche oder Kompression des Schädels. Dabei wird die eingeleitete Kraft fortgeleitet, es entstehen Berstungsfrakturen.

Lt. Unterharnscheidt [10] überwiegen bei bewegtem Schädel (Beschleunigungstrauma – Sturz) die Berstungsbrüche und bei unbewegtem Schädel (Schlag) die Biegungsbrüche der Kalotte.

Form und Verlauf der Brüche lassen sich in Längs-, Quer (Scharnier-), Ring-, Trümmer-, Impressions- und Lochfrakturen sowie Sonderformen einteilen.

Zur Analyse der Gewalteinwirkung ist eine genaue Einteilung der verschiedenen Bruchformen notwendig, die bereits Prokop [6] unterteilte in:

- a) geformter Bruch (Impressionsfraktur oder Lochbruch)
- b) Übergangsformen (Terrassenbruch)
- c) ungeformter Bruch (Biegungs- und Berstungsbruch).

Eine Impressionsfraktur entsteht, wenn eine direkte umschriebene Gewalt mit der nötigen Intensität auf eine Knochenfläche von bis zu ca. 4x4 cm, mehr oder weniger lotrecht auf die Oberfläche trifft und ein

Knochenstück, wie ausgestanzt, ins Schädelinnere drückt. Häufige Ursachen sind Schussverletzungen, aber auch Hammer- oder Beilschläge. Trifft die Gewalteinwirkung mit einer begrenzten Fläche auf den Schädel schräg auf die Schädeloberfläche entsteht ein Terrassenbruch.

Dabei wird ein Teil der Schädelkalotte, wie bei einem Lochbruch ausgestanzt und eingedrückt; an einer Seite brechen kleine Stücke aus dem Knochen und bilden terrassenartig eine Verbindung zwischen der Schädeloberfläche und dem eingedrückten Teilstück. Diese Bruchform findet sich in der forensischen Praxis relativ häufig, wobei eine Zuordnung zum Tatwerkzeug schwieriger ist, als bei der Impressionsfraktur.

Biegungsfrakturen sind direkte, ungeformte Frakturen und entstehen durch eine Aufschlagsfläche von über ca. 4x4 cm, dabei gehen die Bruchlinien radiär vom Zentrum über die Ausdehnung der Aufschlagfläche hinaus und umkreisen dieses konzentrisch zirkulär, als sog. Globusbruch oder spider's web fracture.

Die Berstungsfraktur ist als indirekte Fraktur in der Regel die Folge einer allgemeinen Schädelverformung und entsteht am Ort der größten Spannung im Knochen. Typischerweise verlaufen sie als lineare Frakturen vom Ort der Gewalteinwirkung und können sich über das gesamte Schädeldach ziehen.

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 [6,7].

Sind mehrere Frakturen an der Kalotte vorhanden, wird bei der Analyse die Puppe Regel (1914) angewendet: Eine später entstandene Bruchlinie endet an jener, welche durch eine vorausgegangene Einwirkung bereits vorhanden war.

Bei 20-30% der tödlichen Kopfverletzungen finden sich keine Schädelfrakturen [8].

Bei typischen Maßkrugschlägen ist v.a. das Schädeldach gefährdet.

### **2.3.1.3. Gehirnverletzung**

Schädelfrakturen ziehen häufig Verletzungen der darunter liegenden Strukturen, wie Meningen und Gehirn, nach sich.

Stumpfe Traumen gegen den Kopf treten in der Regel am Ort der Gewalteinwirkung als fokale Verletzungen auf. Am häufigsten in Form von Prellungen der Hirnoberfläche, sogenannte Rindenprellungsherde, aber auch als Hämatome in den Gehirnhäuten, wie das epidurale (art. Blutung vorwiegend aus den Aa. meningeae), das subdurale (venöse Blutungen durch Ruptur der Brückenvenen) oder das subarachnoidale (arterielle Blutungen aus den Hirnbasisarterien des Circulus arteriosus cerebri) Hämatom.

Diffuse Gehirnverletzungen reichen von der leichten Gehirnerschütterung (Commotio cerebri), über das Gehirnödem mit intrakraniellm Druckanstieg bis zum diffusen axonalen Schaden (DAI).

Generell werden Kopfverletzungen mit Hirnbeteiligung als Schädelhirntrauma (SHT I-III<sup>o</sup>) bezeichnet und im deutschsprachigen Raum erfolgt die klinische Einteilung in drei Schweregrade, die sich an der Dauer der Bewusstlosigkeit, der Rückbildung der Symptome und den Spätfolgen orientieren.

Die Diagnose Commotio cerebri (SHT I) beschreibt einen Symptomenkomplex ohne fassbare morphologische Schädigung. Sie ist eine der häufigsten Folgen nach einer stumpfen Gewalteinwirkung und äußert sich in einer passageren, voll reversiblen Funktionsstörung des Gehirns, die mit einer kurzfristigen Bewusstseinsstörung von bis zu einer Stunde einhergehen kann, oft begleitet von Kopfschmerzen und Übelkeit mit Erbrechen.

Bei der Contusio cerebri (Gehirnprellung – SHT II) finden sich neben Funktionsstörungen des Gehirns lokalisierbare anatomische Veränderungen. Eine Vigilanzstörung von über einer halben Stunde kann vorliegen.

Unter dem Begriff Compressio cerebri (Gehirnquetschung – SHT III) werden intrakranielle Drucksteigerungen zusammengefasst, durch Verlagerung von Gehirnstrukturen, wie sie bei intra- und extrazerebralen

Blutungen auftreten können. Die Bewusstlosigkeit dauert länger als eine Stunde [9].

### 2.3.2. Mögliche Verletzungsmechanismen

Unterharnscheidt [9] unterscheidet Gewalteinwirkung auf den frei beweglichen und auf den fixierten Kopf. Der Schädel gilt als fixiert, wenn er fest aufliegt, eingeklemmt ist oder bei aufrechter Körperhaltung ein Stoß von oben auf den Kopf erfolgt und die Wirbelsäule nur eine geringe Beschleunigung zulässt. Bei Verletzungen am frei beweglichen Kopf handelt es sich um ein Beschleunigungstrauma und am fixierten Kopf um ein Kompressions- oder Quetschungstrauma. Schmidt et al. [11] spricht von statischen und dynamischen Verletzungsmechanismen, wobei letztere unterschieden werden in Kontakt und Beschleunigungstraumata.

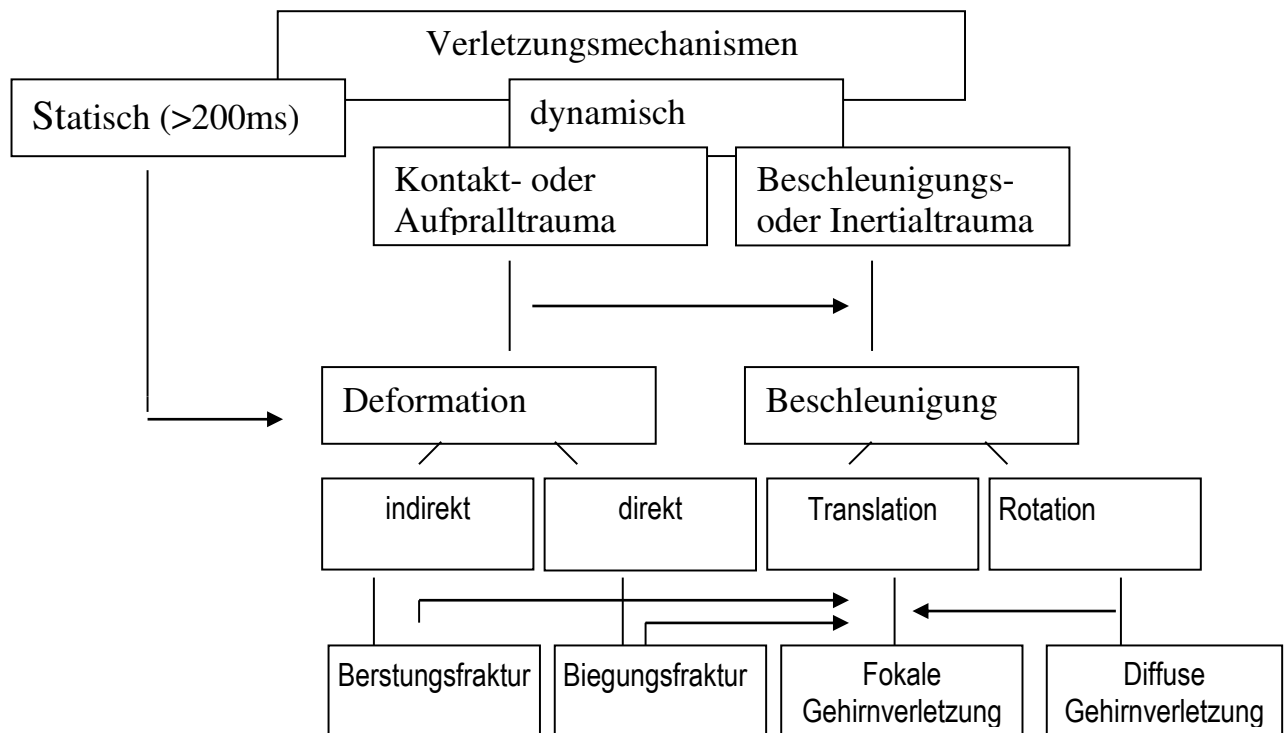


Abb. 3:  
Einteilung der Verletzungsmechanismen nach Schmidt et al. (2007)

### **2.3.2.1. Statische Gewalteinwirkung**

Bei Kompressionstraumen handelt es sich um eine quasi-statische Belastung, durch Einklemmen des Kopfes, der dabei erheblich deformiert werden kann und bei Erreichen hoher Kräfte meist ausgedehnte komplizierte Frakturen erfährt, wie Biegungs- oder Berstungsfrakturen, mit der Folge von massiven Gehirnquetschungen. Dabei wird der Kopf nicht beschleunigt, weshalb Contrecoup-Läsionen (s.u.) fehlen.

### **2.3.2.2. Dynamische Gewalteinwirkung**

Am frei beweglichen Kopf werden aus biomechanischer Sicht zwei verschiedene Formen der dynamischen Gewalteinwirkung beschrieben. Das Kontakt- oder Aufpralltrauma (direkter Kontakt des Kopfes mit einem Objekt) und das Beschleunigungstrauma (durch Impulsänderung bewegt sich der Kopf infolge der Bewegung anderer Körperteile).

Diese Ereignisse sind mechanisch gesehen vollkommen verschieden voneinander und haben unterschiedliche Konsequenzen. Beide Aktionen treten nicht gleichzeitig auf, können aber nacheinander vorkommen [12].

#### **Kontakt- oder Aufpralltrauma**

Wirken ausreichend hohe Kontaktkräfte, wird der knöcherne Schädel deformiert und das darunter liegende Gewebe erleidet eine umschriebene Läsion, z.B. ein epidurales Hämatom oder eine Prellung. Bei Überschreiten der knöchernen Elastizitätsgrenze kommt es zuerst zur Fraktur der Tabula interna und danach der Tabula externa. Es werden Druckwellen angenommen, die einen Gradienten durch das Gehirn aufbauen, mit positivem Druck auf der Seite des Anpralls (Coup-Verletzung) und negativem Druck diametral auf der gegenüberliegenden Seite (Contre-Coup-Verletzung). Der Überdruck am Stoßpol führt oft zu Prellungen, im Gegenstoßpolbereich kommt es aufgrund des Druckabfalls zu Zugbelastungen, die Gefäßzerreißen hervorrufen können.

Nach der Kavitationstheorie werden auf der stoßfernen Seite des Gehirns durch Unterdruck erzeugte Gasblasen in den oberflächlichen Gehirngefäßen vermutet, die sich vergrößern und bei ihrem Zerplatzen zu Gefäßzerreißen führen [11].

### **Beschleunigungs- oder Akzelerationstrauma**

Ändert der Kopf aufgrund des Kontaktes seinen Bewegungszustand und entstehen dadurch hohe Kopfbeschleunigungen, kommt es aufgrund der Massenträgheit des Gehirns zu einer Interaktion mit dem knöchernen Schädel und zu veränderten Druckverhältnissen im Schädelinneren. Zwei Arten der Beschleunigung erzeugen unterschiedliche Schädigungen:

#### **Translationsbeschleunigung**

Bei der Translationsbeschleunigung verläuft die Stoßachse im Zentrum des Kopfes oder in seiner Nähe und es kommt zur Relativbeschleunigung beider Stoßpartner, wobei das Gehirn am Stoßpol gegen das Schädelinnere gedrückt wird, somit einen positiven Druck aufbaut und am Gegenpol, durch Auseinanderweichen von Hirnsubstanz und Schädelhülle einen negativen Druck erzeugt. Der menschliche Schädel besitzt je nach Alter eine unterschiedlich große Deformierbarkeit. Ist die Schädelhülle noch flexibel, wie beim Säugling, reduziert sich der Unterdruck am Gegenpol und der Druck steigt am Stoßpol um den gleichen Wert. Bei einem alten Menschen mit starrem Schädelknochen steigt dieser Unterdruck an und kann durch die Kavitationswirkung sog. Rindenprellungsherde (Par contrecoup) verursachen. Im Allgemeinen resultieren aus diesem Trauma fokale Verletzungen.

#### **Rotationsbeschleunigung**

Bei der Rotationsbeschleunigung (Winkelbeschleunigung) verläuft die Stoßachse tangential zum Mittelpunkt des Kopfes durch einen exzentrisch ansetzenden Stoß oder eine indirekte Krafteinleitung am Kopf. Dies führt zur Rotation des Kopfes und zur Relativbewegung des Gehirns gegen die knöcherne Hülle.

Aufgrund der unregelmäßigen Form der Schädelknocheninnenseite kommt es zur ungleichmäßigen Verschiebung des Gehirngewebes, mit Dislokation und Zerreißen von Gefäßen und Geweben. Die entstehenden Scherkräfte verursachen eine Überdehnung der Axone in der weißen Substanz, die schließlich in diffuse Hirnverletzungen münden können.

Beide Beschleunigungsformen treten in der Regel gemeinsam auf. Der Schädel ist mit der Halswirbelsäule flexibel verbunden, so dass sich der Kopf auch bei linearer Gewalteinwirkung um einen bestimmten Punkt im Raum dreht und somit auch eine anguläre Beschleunigung stattfindet [9].

Ein reines Kontakt- oder ein reines Beschleunigungstrauma sind eher die Seltenheit. Ist die einwirkende Kraft groß genug, treten bei reinen Kontakttraumen die Gewebsschäden vor allem auf der Seite der einwirkenden Kraft (Coup-Läsion) auf, beim Translationstrauma hingegen kommt es eher zu Verletzungen auf der dem Stoß gegenüberliegenden Seite (Contre-coup Läsion).

Dieser Verletzungstyp tritt v.a. auf, wenn die Kraft breitflächig auf eher weniger deformierbare Regionen des Schädelknochens einwirkt und der Schädel frei beweglich ist.

## **2. Studienlage zur Toleranzgrenze hinsichtlich Schädelfrakturen**

Zur biomechanischen Bewertung von Verletzungen ist die Feststellung der Toleranzgrenzen, d.h. der Zusammenhang zwischen den Kenngrößen der mechanischen Belastung (Kraft, Beschleunigung) und dem Auftreten einer Schädelfraktur notwendig. Für die forensische Bewertung ist vor allem die untere biomechanische Toleranzgrenze von Bedeutung, ab der eine Fraktur auftreten kann.

In der Literatur finden sich einige Untersuchungen zu Frakturtoleranz und Bruchverhalten des knöchernen Schädels.

Nahum et al. untersuchte 1968 das Bruchverhalten von Stirnbein, der Temporoparietalregion und dem Jochbein, sowohl an nicht präparierten, als auch in Formalin fixierten Leichenschädeln. Es erfolgte erstmalig jeweils nur ein Schlag mittels eines Zylinders mit dem Durchmesser von 6,45 cm. Dabei erzeugten 20 Schläge 18 Frakturen der einzelnen Regionen mit gemessenen Mittelwerten beim Stirnbein von 4.9 kN, beim Os parietale 2.4 kN und beim Os zygomaticum 1.7 kN. Als untere Toleranzschwelle wurden für das Os frontale 4 kN, beim Os parietale 2 kN und für das Jochbein 1 kN abgeleitet.

In einer weiteren Untersuchung von Nahum und Schneider [13,14] war die Bruchschwelle des Stirnbeins bei 13 untersuchten Objekten signifikant höher, mit einem Mittelwert von 5.8 kN (4,1-9.9). Die gemessenen Schwellenwerte für den Oberkiefer betragen 0.7 kN und den Unterkiefer a-p 1.8 kN und lateral 0.9 kN. Sie stellten fest, dass die Frakturschwelle mit der Knochendicke korreliert, dass die Formalinfixierung und die Stoßdauer und der Kraftanstieg nur einen



geringen Einfluss auf die Ergebnisse haben und der weibliche Schädel bei geringeren Energien bricht.

1974 führten Lippert et al. [15] eine Studie unter anderem hinsichtlich der Schlagbruchfestigkeit von 30 menschlichen Schädeldächern, mit insgesamt über 3000 Messergebnissen durch.

Er resümierte, dass die Schlagbruchfestigkeit des Schädeldaches bei der Frau mit zunehmendem Alter abnimmt und insgesamt sich die mittleren Frakturtoleranzwerte zwischen den Geschlechtern nur gering unterscheiden. Es wurden jedoch große Unterschiede hinsichtlich Verteilung fester und weniger stabiler Regionen im Bereich von Scheitel- und Hinterhauptsbein festgestellt. Knochen großer Schlagbruchfestigkeit (Os frontale) sind zum Teil durch Regionen deutlich geringerer Festigkeit (Sutura coronalis) von angrenzenden Knochen getrennt.

V.a. die Schichtdicke der Diploe korreliert nach Lippert mit der Schlagbruchfestigkeit. Diese spongiöse Schicht trägt durch ihren Bau (einzelne Gewölbe) viel zur Widerstandsfähigkeit des menschlichen Schädels gegenüber mechanischer Belastung bei, ihr kommt eine höhere Bedeutung zu als der Tabula intern und externa.

Ferner stellte er in seinen Untersuchungen fest, dass die äußere Tafelschicht dicker ist, als die innere und beim Mann im Durchschnitt auch dicker als die weibliche Tabula interna. Auch bestehen signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Bereichen des einzelnen Schädelknochens, z.B. ist beim männlichen Scheitelbein die Region der Pfeilnaht (Sutura sagittalis) am dicksten.

Mit dem Alter nimmt die Knochensubstanz vor allem in den Übergangszonen der Diploe zu den Randschichten deutlich ab, bei Frauen tritt dieser Abbau früher ein. Nehmen die kompakten Randschichten ab, sinkt auch das Biegebruchmoment. Die stärkste Biegefestigkeit weisen in absteigender Reihenfolge das Stirnbein, das Hinterhauptsbein und mediale Anteile des Scheitelbeins auf.

Allsop [16] untersuchte 1991 die Fraktureigenschaften von 31 Leichenschädeln mit verschieden großer Aufschlagfläche des Impaktors. Es wurden für die Temporoparietalregion eine Scheibe im Durchmesser von 25.4 mm (Gewicht 10.3 kg) und für die Parietalregion ein Quadrat von 5 cm<sup>2</sup> (Gewicht 12 kg) benutzt. Die Frakturtoleranz des Os temporoparietale bewegte sich bei 5.2 kN (2.5-10 kN), die des Os parietale bei 12.5 kN (5.8-17 kN), mit zunehmender Aufschlagfläche

resultierten höhere Bruchkräfte, ein Zusammenhang zwischen Mineralgehalt des Knochens und der Frakturschwelle konnte nicht hergestellt werden.

Eine 2008 durchgeführte Studie von Bolliger et al. [17] untersuchte das Bruchverhalten von leeren und vollen 0.5 l Standard-Bierflaschen (aus Glas, Leergewicht: 391 g, befüllt: 898g) und stellte fest, dass selbst an der schwächsten Stelle der Flasche, dem unteren Drittel des Schaftes, sowohl bei vollen als bei leeren Flaschen, Bruchenergien zwischen 30-40 J notwendig sind, damit diese zu Bruch gehen. Er folgerte, dass Bierflaschen die Frakturtoleranz eines menschlichen Schädels übersteigen können und somit durchaus in der Lage sind, Schädelbrüche hervor zu rufen.

Er stützt seine These auf die elektrohydraulischen Experimente mit menschlichen Leichenschädeln von Yoganandan et. al [18], der 1995 die Bruchenergien von einzelnen Schädelregionen bestimmte und dabei Werte zwischen 14,1-68,5 J gemessen hat. Diese Studie untersuchte 12 Leichenschädel unter quasistatischen und dynamischen Belastungen. An 7 Leichenschädeln wurden mit Aufprallgeschwindigkeiten von 7,1-8 ms<sup>-1</sup> Bruchkräfte von 8,8-14,0 kN gemessen, im Bereich der Scheitel- (11,5-14 kN), der Frontal- (13,6 kN) und der Hinterhauptsregion (10 kN). Aus rekonstruktiver Sicht ist von Bedeutung, dass der Frakturspalt im Bereich des Einschlages schmaler war, als in fortgeleiteten Bereichen.

In der forensischen Literatur finden sich viele Berichte über Stich- und Schnittverletzungen durch zerbrochenes Glas, mit zum Teil tödlichem Ausgang, allerdings gibt es nur spärliche Daten über tödliche Verletzungen durch Schlag mit Trinkgläsern oder Flaschen.

Madea et al. [8] untersuchte 30 Fälle im Zusammenhang mit Kopfschlägen durch Glasflaschen ohne ernsthafte Verletzungen im Vergleich zu Schlägen mit tödlichem Ausgang. In nur 2 Fällen wurde eine Schädelfraktur gefunden. In den Fällen mit Todesfolge stand die eigentliche Todesursache in keinem Zusammenhang mit einer mechanischen Verletzung von Knochen oder Gehirn. Der Füllungsstatus, das Gewicht oder die Form der Flaschen hatte keinen Einfluss auf das Bruchverhalten der Flasche oder die resultierenden Verletzungen.

In den meisten Fällen sind Kombinationen von Quetsch-/Riss- und Schnittwunden aufgetreten, wobei die Quetsch-/Risswunden deutlich

größer waren, die für einen tödlichen Ausgang im Sinne von Verbluten verantwortlich waren.

Untersuchungen von Shepard et al. [19] zeigen, dass Verletzungen, die durch einen Schlag mit einem Trinkglas verursacht werden, eher von Scherben des vorher oder währenddessen zu Bruch gegangenen Glases herrühren und dass intakt gebliebene Trinkgefäße in der Regel keine ernsthaften Verletzungen erzeugen. Scherben von zerbrochenen Gläsern und Flaschen führen oft zu Schnittverletzungen im Gesicht und an den Händen, mit z.T. bleibenden Schäden. Bei ausreichend hohen Aufprallgeschwindigkeiten können Glasscherben aber auch Blutgefäße oder andere wichtige Strukturen des Körpers durchtrennen und damit lebensgefährliche Verletzungen verursachen [18].

Sterzig et al. [20] führte 2008 eine Testreihe mit einfachen Trinkgläsern (Vol. 0.3-0.5 l) durch, die in Überkopftechnik auf ein Kopfmodell in 2 m Entfernung geworfen wurden. In der Hälfte der Fälle resultierte bei Auftreffen des Glasbodens eine Schädelfraktur. Schlug das Bierglas mit der langen Seite auf, blieben das Glas intakt und der Schädel unversehrt. Traf der Glasrand zuerst auf das Modell, führte dies zum Bruch des Glases und die Scherben erzeugten oberflächliche Wunden. Diese Experimente belegten, dass bei einem Überkopfwurf sehr hohe Geschwindigkeiten erreicht werden und Schläge oder Würfe mit Gläsern ein hohes Verletzungsrisiko nach sich ziehen können.

Hottmar und Havel [23] haben insgesamt 23 reale Fälle mit Verletzungen durch Bierflaschen und -gläser (0,5 Liter, unterschiedliche Wanddicken, Gewichte 230 g -675 g) berichtet. Signifikant unterschiedliche Verletzungsmuster in Abhängigkeit von der Wanddicke des Gefäßes wurden nicht festgestellt. Coomaraswamy und Shepherd [24] zeigten anhand der Auswertung in 1288 Fällen mit Entschädigungen, dass Angriffe mit Flaschen zu leichteren Verletzungen führten (und mit geringeren Kosten einhergingen) als Angriffe mit Gläsern; dies waren insbesondere eine geringe Anzahl von Gesichts- und Augenverletzungen.

#### **4. Voruntersuchung zur Biomechanik des Maßkrugschlages**

Eine detaillierte Studie zur Biomechanik des Maßkrugschlages wurde bisher noch nicht durchgeführt.

Über die entstehenden Schlaggeschwindigkeiten und die damit verbundenen Kräfte ist bisher nur wenig bekannt, ebenso über die unterschiedlichen Bruchtoleranzen des Maßkruges.

Adamec et al [21] untersuchte 2009 erstmalig in einer Vorstudie das Bruchverhalten von Maßkrügen. Dabei wurden fabrikneue Glaskrüge getestet, die in einer Ausholbewegung über den Kopf auf einen knöchernen Schädel, ein mazeriertes Schädeldach oder eine Holzplatte einschlugen. Bei intensiven Schlägen wurden Aufprallgeschwindigkeiten von bis zu 8 m/s und Kräfte von bis zu 8 kN registriert.

In diesen Versuchen brach der Krug in keinem Fall, auch nicht nach Überschreiten der in der Literatur angegebenen, biomechanischen Toleranzgrenzen für Schädelfrakturen. Daraus wurde zunächst gefolgert, dass Maßkrüge sehr stabil sind und deshalb eher Schädelbrüche zu erwarten wären, als ein Zersplittern des Kruges.

In der forensischen Praxis wird, wie durch die oben aufgeführten epidemiologischen Daten dokumentiert, jedoch häufiger ein Brechen des Maßkruges beobachtet, während Schädelfrakturen relativ selten auftreten. Da in der Vorstudie nur fabrikneue Krüge getestet wurden, während bei den realen Vorfällen in der Regel gebrauchte eingesetzt werden, liegt die Vermutung nahe, dass gebrauchte Krüge eine deutlich niedrigere Bruchfestigkeit aufweisen.

Diese Hypothese wurde in der vorliegenden Arbeit getestet. Zu diesem Zweck wurden gebrauchte Maßkrüge im Labor auf ihre Bruchfestigkeit untersucht und mit einer Kontrollgruppe fabrikneuer Krüge verglichen.

#### **5. Fragestellung**

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den forensisch biomechanischen Aspekten des Maßkrugschlages. Folgende Arbeitshypothesen, die für die Bewertung von Maßkrugschlägen im experimentellen Teil relevant sind, wurden formuliert:

1. Die Höhe der Bruchkraft eines Maßkruges hängt davon ab, ob mit der Seite oder mit dem Boden zugeschlagen wird. Aufgrund der Form des Kruges, insbesondere der wesentlich höheren Wanddicke in diesem Bereich, ist eine erhöhte Bruchfestigkeit des Bodens gegenüber der Wand des Kruges zu erwarten.
2. Die Höhe der Bruchkraft eines Maßkruges hängt davon ab, ob es sich um ein fabrikneues Gefäß handelt, oder ob der Krug bereits im Gebrauch war und daher mechanisch vorbelastet ist. Durch Stoßbelastungen können Mikroschädigungen innerhalb der Gläser entstehen, die zwar nicht mit bloßem Auge sichtbar sind, aber dennoch die Strukturfestigkeit des Kruges beeinträchtigen. Eine Reduktion der Bruchfestigkeit infolge mechanischer Vorschäden wurde bei Bargläsern durch Shepard et al. [19] nachgewiesen. Ferner spricht für diese Hypothese die Tatsache, dass in einer Vorstudie von Adamec [21] mit fabrikneuen Krügen diese allesamt eine höhere Bruchfestigkeit aufgewiesen haben als der menschliche Schädel, reale forensische Fälle mit Maßkrugschlägen auf den Kopf aber zeigen, dass der Krug nicht selten bricht beim Ausbleiben von Frakturen.

Die Studie wurde auf die forensische Praxis ausgerichtet und daher so konzipiert, dass möglichst realitätsnahe Bedingungen geschaffen werden. Hierbei spielten die Maßkrüge selbst eine wichtige Rolle. Für die Studie gelang es, von einem Wirt auf dem Münchner Oktoberfest insgesamt 20 Maßkrüge zu beschaffen, die nach Angaben der Bedienung alle zumindest für wesentliche Teile des Oktoberfestes eingesetzt wurden. Das Alter der Krüge sowie das Ausmaß mechanischer Vorbelastungen sind unbekannt und nicht ermittelbar. Dies entspricht der Situation in realen Fällen, die einer rechtsmedizinischen Begutachtung bedürfen. Diese Krüge werden als gebraucht bezeichnet.

## **6. Methodik**

Im Rahmen dieser Arbeit wurden 24 rechtsmedizinische Gutachten zu Maßkrugschlägen gegen den Kopf aus den Jahren 2004-2010 und 7 handschriftlich erstellte Protokolle von 2009 – 2010 ausgewertet, um Einblick in die Verletzungsfolgen realer Fälle zu erhalten.

Der experimentelle Teil der Arbeit beschäftigt sich mit den bei einem Maßkrugschlag auftretenden Belastungen. Es wurden insgesamt 32 Maßkrüge getestet, 12 waren fabrikneu und 20 gebraucht.

### **Studienort**

Die Untersuchung wurde im bewegungswissenschaftlichen Labor des Instituts für Sportwissenschaften und Sport der Universität der Bundeswehr in München durchgeführt (Laborleitung Prof. Dr. K. Schneider).

### **Material**

Als Proben dienten 32 Maßkrüge mit einem Volumen von 1 Liter und einer Leermasse von 1,3 kg, wie sie üblicherweise in den bayerischen Schankbetrieben und Festzelten verwendet werden. Davon waren 20 Stück gebraucht (Oktoberfest, die Anzahl der Waschvorgänge oder andere quantifizierbare Parameter des Gebrauchs waren nicht bekannt), ohne sichtbare Strukturschäden. Ein Anhalt für eine verminderte Festigkeit gab es nicht. Zur Überprüfung der Hypothese, dass die Bruchfestigkeit, und damit die Art der beim Schlag auftretenden Verletzungen, entscheidend vom Zustand des Materials abhängt, wurden die gleichen Versuche mit 12 fabrikneuen Krügen der gleichen Art durchgeführt.

### **Maßkrug:**

Maßkrüge sind relativ komplex geformt und variieren in ihrer Wandstärke beträchtlich, siehe Abb 4., die Seitenwanddicke beträgt im oberen Drittel 0,6cm, im mittleren Drittel 0,8cm und knapp oberhalb des Bodens über 1cm.

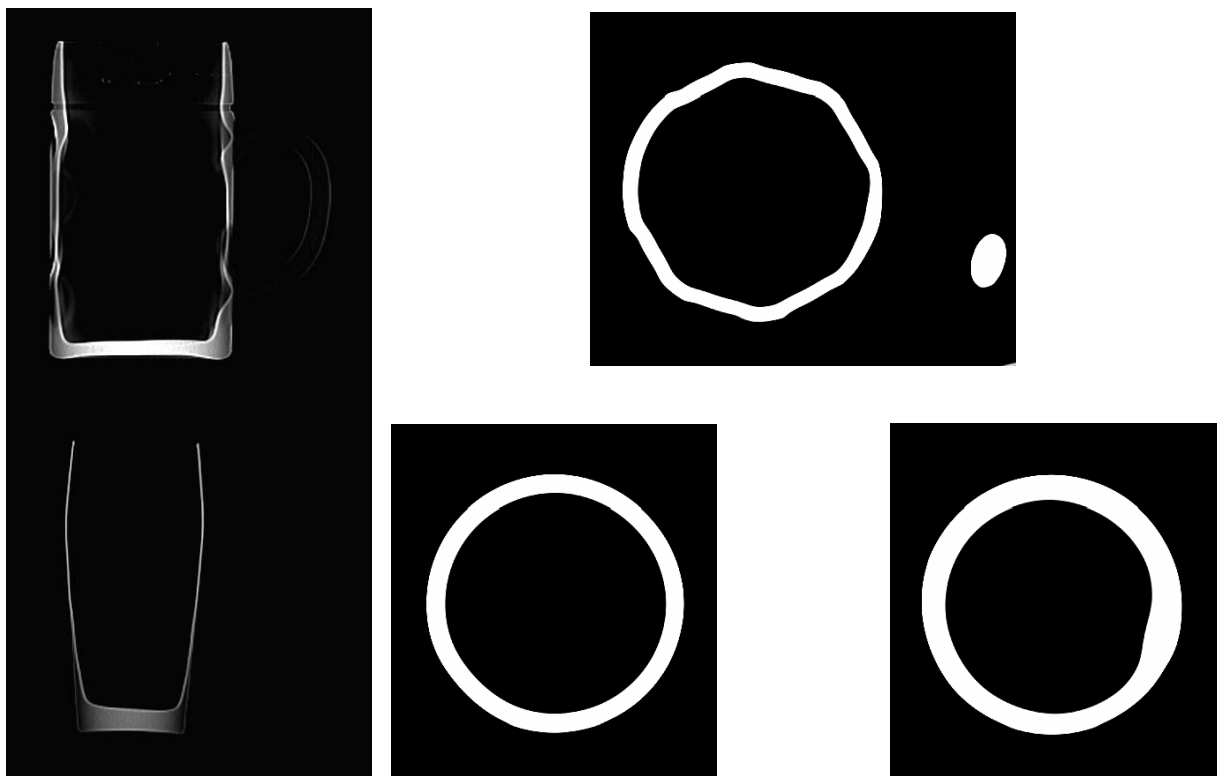


Abb. 4: Die Wandstärken eines Maßkrugs (CT); links Seitenaufnahme oben Maßkrug, unten zum Vergleich ein Bierglas 0,5 l. Rechts horizontale Schnitte durch einen Maßkrug im oberen (unten links) und mittleren Drittel (oben) sowie knapp oberhalb des Bodens (unten rechts).

### Versuchsaufbau

Für den Versuch wurde ein Kopfsurrogat (Alu-Kern eines Dummy-Kopfes Hybrid III) verwendet, der mit einer 0.8 – 1 cm dicken Silikonschicht (Darstellung der Kopfhaut) bedeckt war, die bei sichtbarer Beschädigung durch eine neue ausgewechselt wurde.

Der Dummykopf wurde auf eine Kraftmessplatte der Firma Kistler Instrumente AG aufgestellt, die bei einer Aufnahme­frequenz von 5000 Hz die Bodenreaktionskraft bis zu einem Maximalwert von 15 kN aufzeichnete. Zusätzlich waren 12 Digital Infrarot-Hochgeschwindigkeitskameras, mit jeweils 500 Hz Aufnahme­frequenz, der Firma Motion Analysis Inc. im Abstand von 4 m kreisförmig um die Platte angeordnet, um die Aufprallgeschwindigkeit messen zu können.

Der Versuchsablauf wurde mit der Software Cortex 1.1.4.368 der Firma Motion Analysis Inc. in Echtzeit auf einem handelsüblichen Computer aufgezeichnet und verarbeitet. Zusätzlich wurde die Versuchsreihe mit einer Videokamera der Firma Panasonic aufgenommen.

Nach genauer Inspektion auf eventuelle Vorschäden und Dokumentation mittels Digitalkamera erhielt jeder der 32 nummerierten Maßkrüge einen Reflektormarker.

Zum Schutz unseres Probanden vor umher fliegenden Glassplittern trug er während der Versuche Arbeitshandschuhe und eine Gesichtsschutzmaske.

### **Versuchsablauf**

Die Schläge wurden von einer einzigen erwachsenen, männlichen Person (Größe 177cm, Gewicht ca. 84 kg) ausgeführt und erfolgten mit einer Ausholbewegung über den Kopf in unterschiedlicher Intensität.

Die Maßkrüge prallten dabei entweder mit der Bodenfläche oder mit der zylindrischen Seitenfläche auf den Dummykopf.

Bei Nichtzerbrechen des Kruges wurde der Versuch mit erhöhtem subjektiven Kraftaufwand wiederholt. Eine obere Grenze von 10 kN wurde bei der Messung festgelegt, d.h. nach Erreichen dieser Höhe der Kontaktkraft wurde von weiteren Versuchen abgesehen. Dies ist dadurch zu begründen, dass in diesem Bereich bereits die Versuchsperson nahe der Maximalleistung war und eine weitere Steigerung naturgemäß nicht kontrolliert erfolgen konnte und bei höheren Kräften sowohl die Kraftmessplatte, als auch der Dummy-Kopf gefährdet gewesen wären.

Die Festigkeit des menschlichen Schädels ist bei dieser Höhe der Kontaktkraft sicher erreicht oder überschritten.

In der Versuchsreihe I wurden 13 gebrauchte Maßkrüge mit der Seitenfläche auf den Dummy geschlagen. Der Versuch wurde bis zum Bruch des Kruges wiederholt.

In der Versuchsreihe II wurden 10 gebrauchte Maßkrüge zunächst mit der Bodenfläche auf den Dummy geschlagen. Brach der Krug auch nach Erreichen der Maximalkraft nicht, erfolgte anschließend ein Schlag mit der Seitenfläche bis zum Bruch des Kruges (Krug Nr. 11,12,18).

In der Versuchsreihe III, die Kontrollgruppe aus 12 ungebrauchten Krügen, wurde mit der Seitenfläche auf den Dummy geschlagen. Brach der Krug auch nach Erreichen der Maximalkraft nicht, wurde der



Versuch abgebrochen, mit Ausnahme der gekennzeichneten Schläge der Proben 31 und 32, die danach noch mit dem Boden geschlagen wurden. Anschließend wurde in der Versuchsreihe IV auch die Bruchfestigkeit von 10 fabrikneuen Maßkrügen bei Auftreffen im Bereich des Bodens getestet.

## **7. Ergebnisse**

### **7.1. Auswertung der gerichtlichen Gutachten aus dem Archiv der Rechtsmedizin München**

In den vorliegenden Fällen erlitten 23 % (7 Fälle) der Geschädigten eine Fraktur, wobei zweimal ein Schlag gegen das Gesicht ausgeführt wurde und dabei eine Mehrfragmentfraktur der Maxilla, mit Verlust von Schneidezähnen und einmal eine Orbitabodenfraktur resultierte.

In einem dieser Vorfälle erlitt das Opfer eine temporale Kalottenfraktur und eine Felsenbeinlängsfraktur mit epiduraler Blutung, die konservativ versorgt wurde. Drei Impressionsfrakturen mussten plastisch rekonstruiert werden. In einem Fall ereignete sich eine Fraktur des Sinus frontalis und eine Sprengung der Sutura lamdoidea.

In 77 % (24 Fälle) entstanden eine oder mehrere Quetsch- Risswunden von 1-7 cm Länge, die einer chirurgischen Intervention bedurften. In 7 Fällen (23 %) wurden Schnittwunden sowohl im Gesicht, als auch an Armen und Händen verzeichnet. In 13 Fällen (42 %) kam es zum Zersplittern des Maßkruges, in 16 Fällen war ein Glasbruch aufgrund widersprüchlicher Zeugenaussagen nicht eindeutig nachzuweisen, in 2 Fällen blieb der Krug ganz (siehe Tabelle I im Anhang).

In den meisten Fällen ließ sich aufgrund des hohen Alkoholkonsums beider Kontrahenten der Tathergang nur bruchstückhaft rekonstruieren und deshalb konnte in nur 3 Fällen eine klare Aussage darüber gemacht werden, ob der Maßkrug mit der Seite oder dem Boden aufkam.

Bei den vorliegenden Gutachten waren die Täter immer Männer, auf Seiten der Geschädigten erfolgte der Angriff dreimal gegen eine Frau (davon eine Bedienung, die den Nicht-Raucherschutz im Oktoberfest einhalten wollte), bei ansonsten durchwegs männlichen Opfern.

In keinem der untersuchten Fälle führten die Verletzungen zum Tode, allerdings in wenigen Fällen zu derart schweren Verletzungen, die ohne medizinische Intervention durchaus zum Tode hätten führen können.

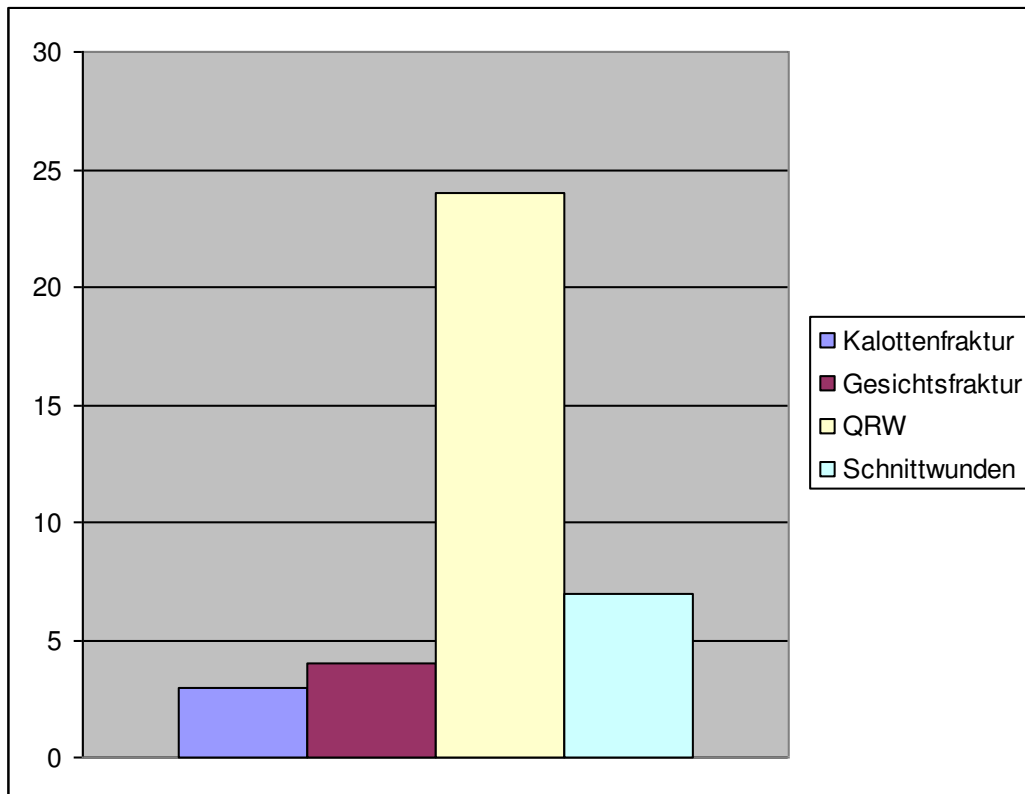


Abb 5: Maßkrugschläge (n=31) und daraus resultierende Verletzungen aus den Gutachten des Instituts für Rechtsmedizin München 2004 – 2010

Zusammenfassend ergibt die Fallanalyse, dass Frakturen auch im Bereich der Kalotte zwar auftreten können, die Maßkrüge jedoch häufiger zerbrechen, ohne eine Schädelfraktur.

## 7.2. Auswertung der Laborversuche

Im Folgenden werden die Ergebnisse der insgesamt 94 Einzelversuche zusammengefasst. Weitere Details sind der Tabelle II im Anhang zu entnehmen.

### **Versuchsreihe I:** n=13 gebrauchte Maßkrüge mit seitlichem Aufschlag

Insgesamt wurden in dieser Gruppe 21 seitliche Schläge auf den Dummykopf durchgeführt. Dabei wurden Aufprallgeschwindigkeiten von 3,1 bis 11,7 ms<sup>-1</sup> erzielt. Die für die Bodenreaktionskraft gemessenen Werte betragen 2,8 – 7,0 kN. Beim seitlichen Aufprall gingen alle Maßkrüge bei gemessenen Kontaktkräften zwischen 3,2-6,3 kN zu Bruch.

Die Bruchmuster der Krüge wiesen keine fassbaren Gemeinsamkeiten auf, die Anzahl und Form größerer Scherben war unterschiedlich. Einzelne Fragmente kamen in Entfernungen von bis zu mehreren Metern von der Auftreffstelle zum Liegen. Unterschiedlich waren auch die sichtbaren Schäden auf der Silikonhaut.

### **Versuchsreihe II:** n=10 gebrauchte Krüge, Aufschlag mit dem Boden

Insgesamt erfolgten 29 Schläge mit dem Boden eines Maßkruges. Die Aufprallgeschwindigkeit betrug zwischen 5,7 – 14,8 ms<sup>-1</sup> und die Bodenreaktionskraft wurde im Bereich von 3,5 – 10,7 kN gemessen.

In der Hälfte der Fälle zerbrach der Maßkrug beim Aufprall mit dem Boden (n=10), bei Kräften von 4,9-8,7 kN. Bei den nicht zerbrochenen Krügen erfolgte nach Erreichen der Maximalkraft von über 10 kN ein weiterer Schlag mit der Seite, der der Versuchsreihe I zugeordnet wurde.

In zwei Fällen gingen die Krüge nach dem ersten Schlag zu Bruch. Dabei traten Messfehler auf, sodass die Messergebnisse nicht verwertet wurden (Krüge Nr. 16/17).

Auch in dieser Konstellation zeigten die Bruchmuster keine spezifischen Merkmale. Zwar fanden sich gehäuft große Fragmente der oberen Krugpartien mit sogar teilweise erhaltener zylindrischer Form (siehe Abbildung 7), auch hier war die Variabilität jedoch insgesamt beträchtlich und die Bruchmuster nicht konsistent.

**Versuchsreihe III:** n=12 fabrikneue Maßkrüge mit seitlichem Aufschlag

Es erfolgten insgesamt 34 Schläge mit der Seite des Kruges, auch hier wurde mit intensiviertem Krafteinsatz zugeschlagen. Es wurden Aufprallgeschwindigkeiten von  $4,8 - 11,6 \text{ ms}^{-1}$  und eine Bodenreaktionskraft von  $4,5 - 11,1 \text{ kN}$  gemessen. Bei den fabrikneuen Krügen (n=12) zerbrachen nur zwei, bei den übrigen Versuchen kam es zum Zerbrechen des Maßkruges trotz Erreichen von über  $10 \text{ kN}$  nicht. Die Versuche wurden daraufhin abgebrochen, siehe Tabelle II, Maßkrug 21-32 im Anhang.

**Versuchsreihe IV:** n=10 fabrikneue Maßkrüge, Aufprall mit dem Boden

Beim Schlag mit dem Krugboden (n=10) konnten trotz Erreichen von über  $10 \text{ kN}$  keine Brüche verzeichnet werden. Die Versuche wurden jeweils nach Erreichen der Maximalkraft abgebrochen, siehe Tabelle II, Maßkrug 27-36 im Anhang.

Die festgestellten Bruchkräfte des Krugs in den Labormessungen lagen insgesamt zwischen  $3,2-11,1 \text{ kN}$  und die Aufprallgeschwindigkeiten im Bereich von  $3,1-14,8 \text{ ms}^{-1}$ .

## 8. Diskussion

Im Folgenden werden einzelne Aspekte der Ergebnisse und Folgerungen aus der vorliegenden Arbeit im Detail diskutiert. Hinweise auf mögliche aus der Versuchsanordnung resultierende Einschränkungen werden besprochen. Es folgen einige Bemerkungen zu juristischen Gesichtspunkten.

## 8.1. Details der Kraftübertragung auf den Schädel

Die Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, dass die bei einem Schlag übertragenen Kräfte entscheidend von mehreren Faktoren abhängen, die im Folgenden diskutiert werden sollen. Die hier beschriebenen Abhängigkeiten sind u.a. relevant für die Beurteilung der Auswirkungen eines Maßkrugschlages im konkreten Fall, so z.B.

- Der Feststellung der Schlagintensität aus den Verletzungen des Opfers und der weiteren Umständen des Tathergangs.
- Der Abgrenzung der tatsächlich durch den Schlag verursachten Verletzungen von anderen, aus den Umständen des Ereignisses resultierenden Verletzungen (z.B. Sturz des Opfers mit Aufschlag auf dem Boden).

Folgende Merkmale des Vorgangs erweisen sich als relevant und sollten daher in eine Analyse des Einzelfalls einbezogen werden:

- Neuer/gebrauchter Krug:  
Die maximale beim Schlag übertragbare Kraft liegt in den Versuchen mit neuen Krügen signifikant höher als mit gebrauchten Krügen. Dies ist auf eine verminderte Bruchfestigkeit der gebrauchten Krüge durch mechanisch und thermisch verursachte Materialermüdung zurückzuführen. Während die neuen Krüge auch bei Kontaktkräften von über 10 kN nicht zu Bruch gingen, brachen die gebrauchten Krüge schon bei Werten zwischen 3,2-8,7 kN. Das Ergebnis liefert somit einen starken Hinweis darauf, dass die Stabilität gebrauchter Krüge erheblich verringert ist. Dieser Zusammenhang ist u.a. wichtig, wenn in der Praxis aus den vorliegenden Verletzungen des Opfers auf die Schlagintensität seitens des Täters geschlossen werden soll.

Unsere Ergebnisse zur oben beschriebenen Abhängigkeit vom Gebrauchszustand der Krüge bestätigen insoweit eine von Adamec et al. in einer Vorstudie [21] formulierte Hypothese. Sie stehen weiter im Einklang mit den Ergebnissen einer ähnlichen Studie von Shepard et al. [19], in der die Bruchfestigkeit von Bargläsern verschiedener Geometrie in Abhängigkeit vom Materialzustand untersucht wurde. Hierzu wurde ein Teil der Gläser am Rand auf

immer gleiche Art und Weise mit einem Diamanten beschädigt. Auch in den dortigen Versuchen zeigten die manipulierten Gläser eine signifikant niedrigere Bruchschwelle als die neuen, was ebenfalls als Hinweis auf eine reduzierte Materialstabilität der Gläser durch die den Gebrauchszustand simulierenden mechanischen Vorschäden gedeutet wurde.

In den hiesigen Versuchen war die mikroskopische Ursache der relativen Materialschwäche nicht bekannt. Optisch war es nicht immer möglich, einen gebrauchten Krug von einem neuen zu unterscheiden.

Für die rechtliche Würdigung eines konkreten Vorfalls dürfte der Materialzustand irrelevant sein, da dem Täter der Zustand des Kruges nicht bekannt sein kann.

- Zerbrechen des Kruges:  
Bei vorgegebenem Materialzustand des Kruges verringern sich die beim Schlag übertragenen Kräfte tendenziell im Fall eines Bruchs des Kruges. Diese unterschiedliche Beziehung zwischen der auf den Schädel übertragenen Kraft und der tatsächlichen Intensität des Schlages durch den Täter ist beim Versuch einer Herleitung der Schlagintensität aus den Verletzungen zu berücksichtigen. Eine Nichtberücksichtigung kann zur Überschätzung der Schlagintensität bei Nicht-Zerbrechen des Kruges oder umgekehrt Unterschätzung bei einem zufälligen Verlauf mit Bruch des Kruges führen.
- Aufschlag mit der Seite oder mit dem Boden des Kruges  
Die beim Schlag maximal übertragbaren Kräfte hängen im Versuch weiter davon ab, ob der Krug mit der Bodenfläche oder der Seitenfläche auf den Schädel einwirkt. Aus den Ergebnissen der Versuchsgruppen I und II ist eine deutlich geringere Bruchfestigkeit der Proben bei seitlichem Aufschlag im Vergleich zum Aufschlag auf dem Boden zu erkennen. Der Boden zerbrach bei Schlägen mit insgesamt 10 Krügen trotz mehrerer Versuche in nur 5 Fällen, obwohl Schlaggeschwindigkeiten von bis zu 14,8 ms<sup>-1</sup> und Kräfte z.T. über 10 kN erreicht wurden. Als Ursache für diesen Unterschied kommt sowohl die unterschiedliche Dicke der Boden- und Seitenflächen des Kruges in Betracht

(Bodenwandstärke > 1 cm vs. Glasmitte ca. 0,6 cm), als auch die Geometrie des Kruges, die einerseits zu höheren Biegemomenten bei Krafteintrag auf der längeren Seitenfläche führt, während zum anderen die kleinere Bodenfläche an allen Rändern durch die Seitenflächen stabilisiert wird.

Bei der Bewertung der Schlagintensität ist daher zu beachten, dass bei einem seitlichen Schlag der Krug deutlich schneller bricht und damit zu einem kleineren Kraftübertrag führt.

Im konkreten Einzelfall dürfte es schwierig sein, die Frage der Kontaktstelle am Krug aus Zeugenaussagen zu ermitteln. Charakteristische Bruchmuster, die eine zulässige Aussage zur Schlagkonstellation (Zuschlagen mit der Seite oder dem Boden), erlauben würden, konnten nicht verifiziert werden, auch wenn gewisse Fragmentformen etwas gehäuft vorkamen.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass gleiche oder ähnliche Aufprallgeschwindigkeiten teilweise zu ganz unterschiedlichen Kontaktkräften führen. Hierzu sei vermerkt, dass sich physikalisch bei identischen Rahmenbedingungen (identische Kontaktstelle am Maßkrug und am Dummy-Kopf, identische Trajektorie der Schlagbewegung usw.) ein linearer Zusammenhang (eine starke positive Korrelation) zwischen der Aufprallgeschwindigkeit und der Kontaktkraft ergeben müsste. In dieser Studie wurde jedoch absichtlich von einer standardisierten Durchführung der Maßkrugschläge (Fallturm o.ä.) abgesehen, zu untersuchen war eine möglichst realitätsnahe Situation. Die festgestellte Variabilität lässt sich auf Abweichungen in der Ausführung zurückführen (Auftreffpunkte am Maßkrug, am Dummykopf, Auftreffwinkel usw.). Ferner ist darauf hinzuweisen, dass beim Bruch des Kruges die Kontaktkraft nicht die Höhe erreicht, die bei intaktem Gefäß bei gleicher Geschwindigkeit und identischen Rahmenbedingungen zu erwarten wäre.

## **8.2. Reales Verletzungspotential durch einen Maßkrugschlag**

Zur Bewertung des Schädigungspotentials bei einem Maßkrugschlag ist Folgendes anzumerken:

### Gefahr einer lebensbedrohlichen Verletzung

Eine von Yoganandan et. al 1995 durchgeführte Untersuchungsreihe [18] ergab, dass, je nach Ort und Richtung der Krafteinwirkung, Gesamtenergien zwischen 14,1-68,5 J notwendig sind, um Frakturen einzelner Schädelregionen zu erzeugen. Diese Energien wurden bei dem in unserer Studie zu Grunde gelegten Versuchsaufbau deutlich überschritten (mit Ausnahme von 4 Schlägen der Versuchsreihe I, die mit reduzierten Schlaggeschwindigkeiten von 3,1-4,5 m/s durchgeführt wurden).

Der Maßkrugschlag erfolgte im Versuch gezielt auf die Scheitelregion des Dummys. Für diese Region wird die minimale Frakturtoleranzschwelle des Schädels in der Literatur mit ca. 4 kN angegeben. Beim seitlichen Aufprall des Kruges und weniger kraftvollen Schlägen wurden bis zum Glasbruch im Durchschnitt 4.9 kN gemessen, bei intensiveren Schlägen mit dem Boden des Kruges erreichten die Kräfte im Schnitt 7.6 kN bis zum Bruch. Bei den neuen Krügen lagen die gemessenen Kräfte meist über 10 kN.

Die gemessenen Schlaggeschwindigkeiten im Versuch betragen durchschnittlich 8 m/s. Dabei wurden verhältnismäßig hohe Impulse von durchschnittlich 10,4 kg m/s (Produkt aus Schlaggeschwindigkeit und relativ. Masse des Kruges) am Kopf erzielt. Die einwirkenden Kontaktkräfte lagen im Schnitt über der Bruchschwelle des menschlichen Schädels. Die biomechanische Belastbarkeit in den typischen Regionen – Scheitel, Schläfe und Gesicht ist bei diesen einwirkenden Belastungen deutlich überschritten.

Die Silikonschicht, die den Dummykopf bedeckte, zeigte mit zunehmender Krafteinwirkung deutliche Belastungsspuren, die der Morphologie von Quetsch-Riss-Wunden ähnelten. Dies steht im Einklang mit den Angaben in den gesichteten Gutachten, dass bei einem Schlag auf den Kopf durchaus größere Quetsch- Risswunden auftreten können, die zu Verletzungen von arteriellen oder venösen Gefäßen führen und ohne medizinische Versorgung bei erheblichem Blutverlust tödlich verlaufen können.

Bei starker Gewalteinwirkung reichten die erzielten Defekte bis auf den Alu-Kern des Dummy-Kopfes, in wenigen Fällen entstanden hier sogar Dellen (siehe Abbildung 9). Durch die beim Glasbruch einwirkenden Splitter entstanden Beschädigungen auf der Silikonschicht, die morphologisch durchaus mit Schnittverletzungen auf der Kopfhaut



verglichen werden können. Festgestellt wurden Defekte unterschiedlicher Länge, sowie Tiefe. Durch die Wucht des Aufpralls wurden die Glassplitter z.T. mehrere Meter weggeschleudert.

Zusammenfassend lagen die auftretenden physikalischen Größen im Versuch damit häufig über den biomechanischen Toleranzgrenzen des menschlichen Schädels, sodass eine erhebliche Gefahr von Frakturen besteht. Im Zusammenhang mit zu erwartenden möglichen Verletzungen der Kopfhaut und weiteren Komplikationen (z.B. innere und äußere Blutungen, Ödeme, Anstieg des Gehirndrucks) hat ein intensiver Maßkrugschlag damit grundsätzlich ein erhebliches Potential, lebensgefährdende Körperverletzungen hervorzurufen.

Die vorliegende Studie befasste sich hauptsächlich mit der Frage, inwieweit ein Schlag mit einem Maßkrug auf den Kopf eine das Leben gefährdende Behandlung darstellt. Dafür ist nicht ausschlaggebend, welche Verletzungen die geschädigte Person tatsächlich erlitten hat, sondern das Ausmaß der denkbaren Folgen der konkreten Behandlung. In diese Zusammenhang ist zwar festzustellen, dass in der Mehrzahl der realen Fälle unbekannt ist, ob ein Maßkrug zu Bruch ging oder nicht, die schweren Verletzungen sind aber infolge stumpfer Gewalt entstanden. Der Zusammenhang zwischen Ausmaß der Verletzungen und Intaktheit / Bruch des Kruges bleibt zwar unklar, die Messergebnisse bestätigen aber die Beobachtungen aus realen Vorfällen, dass trotz Bruch des Kruges beim Aufprall schwere und bei ungünstigem Verlauf evtl. sogar lebensbedrohliche Verletzungen infolge der Kontaktkraft entstehen können. Hinzu kommt, dass beim Zerschlagen des Kruges sich scharfe Kanten bilden, die zu erheblichen Schnitt-/Stichwunden und bei Verletzungen größerer Gefäße evtl. zum Verbluten führen können.

Bei der konkreten Bewertung der tatsächlichen Verletzungen im Einzelfall sind auch die körperlichen Eigenheiten des Opfers zu berücksichtigen, die im hiesigen Versuchsaufbau nicht abgebildet werden konnten. Zu nennen sind hier u.a. die unterschiedliche Bruchfestigkeit der verschiedenen Knochenregionen und weitere Faktoren wie Alter und Geschlecht des Opfers, die Knochendicke, die Haarquantität, die Kopfhautdicke und deren Elastizität, sowie eine evtl. Kopfbedeckung. Diese Kenngrößen sind lt. oben genannter Studien mitentscheidend dafür, ob bei vorgegebener Intensität des Schlages eine Schädelfraktur und Gewebsverletzungen resultieren oder nicht.

Im Fachschrifttum finden sich außer den bereits zitierten Angaben zum Bruchverhalten von Gläsern und/oder Verletzungen, die aus Schlägen mit Gläsern resultieren, auch Beiträge, die sich mit präventiven Maßnahmen befassen, insbesondere mit alternativen Materialien zur Herstellung von Gläsern; Shepherd [26] hat vorgespanntes Glas vorgeschlagen. Im Vergleich zwischen gewöhnlichem und vorgespanntem Glas konnten jedoch Warburton und Shepard [25] den Vorteil von letzterem nicht nachweisen.

### Einschränkungen

Der Versuchsaufbau könnte zu einer systematischen Überhöhung der am Schädel auftretenden Kontaktkraft bei Ermittlung aus der vorgegebenen Schlaggeschwindigkeit im Vergleich zum realen Fall führen. Erstens bildet die Kraftmessplatte ein festes Widerlager, sodass die Schädelattrappe nicht ausweichen kann. Im menschlichen Skelett ist der Kopf dagegen durch die flexible Halswirbelsäule mit dem Körper verbunden. Laut Nahum [13] wird durch diesen Unterschied die tatsächliche Kontaktkraft bei vorgegebener Bewegung des Schlagobjektes um bis zu ca. 20-30% überschätzt. Des Weiteren ist der Metallkopf nicht deformierbar, wogegen der menschliche Schädel aufgrund seiner Elastizität einen Teil der Schlagenergie absorbieren kann.

### **8.3. Bemerkungen zur juristischen Relevanz:**

Rechtsmedizinische Gutachten werden von der Staatsanwaltschaft angefordert, um Rückschlüsse auf den Tathergang zu ziehen. Sachverständige erstellen im Rahmen der juristischen Würdigung von Körperverletzungsdelikten medizinische Gutachten, um eine juristische Beurteilung des strafrechtlichen Tatbestandes der gefährlichen (§ 224 StGB), der schweren Körperverletzung (§226 StGB), oder des versuchten Totschlags (§ 212 StGB) zu ermöglichen.

In diesen gutachterlichen Stellungnahmen sollen v.a. folgende Sachverhalte geklärt werden:

- besteht ein Kausalzusammenhang zwischen Tathandlung und Schaden des Opfers (Körperverletzungs- und Tötungsdelikte)
- ist die Verletzung dem Tatwerkzeug zuzuordnen?

- ist der Schlag/ die Schläge mit dem gefährlichen Werkzeug (Maßkrug) auf den Kopf für das Opfer potentiell lebensgefährlich gewesen?
- Sind aufgrund der Verletzung Rückschlüsse möglich, mit welcher Wucht der Schlag ausgeführt wurde?

Diese Stellungnahmen dienen der Urteilsfindung, das sich je nach Art der Körperverletzung erheblich im Strafmaß unterscheidet.

Eine potentielle Lebensgefahr ist v.a. darin zu sehen, dass bei Frakturen des Schädeldaches durchaus Verletzungen an Gehirn und seinen Häuten möglich sind. Schlagbedingte Riss-/Quetschwunden können eine Verletzung größerer venöser oder arterieller Gefäße hervorrufen und unter Umständen, ohne medizinische Versorgung zum Tode führen. Auch kann sich eine Wunde infizieren und sich bis hin zur Sepsis entwickeln, die ebenfalls tödlich enden kann. Schädeldachfrakturen sind äußerst selten, aber möglich.

## **9. Schlussfolgerung**

Die Ergebnisse der experimentellen Studie beweisen, dass fabrikneue Krüge deutlich stabiler sind als gebrauchte, selbst wenn diese keine mit dem bloßen Auge erkennbaren Beschädigungen aufweisen. Als mögliche Ursache der reduzierten Widerstandskraft sind insbesondere mechanische (Mikro-) Vorschäden in Betracht zu ziehen.

Zudem konnte gezeigt werden, dass bei Schlägen mit dem Boden des Kruges höhere Kräfte für sein Zerbrechen notwendig sind, als bei Schlägen mit der Seite. Als Grund dafür kann insbesondere die unterschiedliche Dicke von Glaswand und Glasboden angenommen werden.

Unsere Untersuchung bestätigt auch, dass selbst beim seitlichen Aufschlag von gebrauchten Maßkrügen und submaximaler Schlagintensität Kontaktkräfte entstehen können, die über der Bruchschwelle einer menschlichen Schädelkalotte liegen.

Fabrikneue und z.T. auch gebrauchte Maßkrüge sind gegenüber Stoßbelastungen stabiler als der menschliche Schädel und stellen somit ein gefährliches Schlagwerkzeug dar.

Die Studie belegt, dass Maßkrugschläge gegen den Kopf als potentiell lebensbedrohend anzusehen sind, wenn bestimmte ungünstige Faktoren zusammentreffen. Art und Umfang der tatsächlichen Verletzungen hängen im Einzelfall sehr stark von zahlreichen hier diskutierten Parametern ab, die z.T. der Kontrolle des Täters unterliegen (z.B. Stärke des Schlages), z.T. aber als „zufällig“ einzuordnen sind (z.B. Materialzustand/Bruch des Kruges, Ort des Aufschlages).

Die eigentliche Lebensgefahr liegt v.a. in den Folge- bzw. Begleitverletzungen von Schädelfrakturen, wenn Meningen oder das Gehirn verletzt werden und sich daraus Komplikationen, wie Blutungen oder Infektionen entwickeln. Häufiger treten in der Realität Verletzungen durch scharfe Gewalt auf, wie Schnittverletzungen durch scharfe Kanten von Glasscherben, die ggf. den Tod durch Verbluten bewirken könnten.

Die Auswertung einer Reihe von realen Fällen aus den Gutachten des Instituts für der Rechtsmedizin ergab, dass schwere Verletzungen dokumentiert sind, ein tödlicher Ausgang blieb bisher jedoch aus.

## 10. Literaturverzeichnis

- [1] <http://www.polizei.bayern.de/muenchen/news/presse/faelle/index.html/164355>, Zugriff am 10.10.2012
- [2] Brinkmann B, Madea B, Mattig W (2004) Handbuch gerichtliche Medizin, Springer Verlag, S. 335-336
- [3] Brinkmann B, Madea B, Eisenmenger W (2004) Handbuch gerichtliche Medizin, Springer Verlag, S. 571-573
- [4] Unterharnscheidt F, Piek J (1993) Pathologie des Nervensystems VI A: Traumatologie von Hirn und Rückenmark Doerr W, Seifert G (Hrsg) Springer, Berlin.
- [5] Hollander JE, Singer AJ, Valentine SM, Shofer FS (2001) Risk factors for infection in patients with traumatic lacerations. Acad Emerg Med 8(7):716-20
- [6] Brinkmann B, Madea B, Geserick G (2004) Handbuch gerichtliche Medizin, Springer Verlag, S. 373-379
- [7] Prokop O (1975) Einwirkung von stumpfer Gewalt. Forensische Medizin, 3. Auflage Volk&Gesundheit, Berlin S. 233-382
- [8] Madea B, Schmidt PH, Lignitz E, Padosch SA (2005) Skull Injuries caused by Blows with glass bottles, Forensic Pathology Reviews, Vol. 2: 27-41
- [9] Brinkmann B, Madea B, Unterharnscheidt F (2004) Handbuch gerichtliche Medizin, Springer Verlag, S. 392-400
- [10] Unterharnscheidt F (1972) Die traumatischen Hirnschäden. Mechanogenese, Pathomorphologie und Klinik. Zeitschrift für Rechtsmedizin, 71: 153-221
- [11] Schmidt KU, Niederer PF, Muser MH, Walz F (2007) Trauma Biomechanics, Accidental injury in traffic and sports, Second Edition, Springer Verlag
- [12] Goldsmith W, Plunkett J (2004) A biomechanical analysis of the causes of traumatic brain injury in infants and children. Am J Forensic Med Pathol, 25:89-100
- [13] Nahum AM, Gatts JD, Gadd CW, Danforth JP (1969) Impact Tolerance of the face and skull. Proc. 12 th Stapp Car Crash Conference, 302-317
- [14] Schneider G, Nahum A (1972) Impact Studies of Facial Bones and Skull, SAE Technical Paper 720965
- [15] Lippert H, Käfer H. (1974) Biomechanik des Schädeldachs, Teil 2: Dicken der Knochenschichten, Monatsschr. Unfallheilkunde 77: 252-265

- [16] Allsop D, Perl R, Warner C (1991) Force/Deflection and Fracture Characteristics of the Temporo-parietal Region of the Human Head, SAE Technical Paper 912907
- [17] Bolliger SA, Ross S, Oesterhelweg L, Thali MJ, Kneubuehl BP (2009) Are full or empty beer bottles sturdier and does their fracture-threshold suffice to break the human skull? *J Forensic and Legal Medicine* 16: 138-142
- [18] Yoganandan N, Pintar A, Sances JR, Walsh PR, Ewing C, Thomas D, Snyder RG (1995) Biomechanics of Skull Fracture, *Journal of Neurotrauma* 12: 659-68
- [19] Shepard JP, Huggett R.H., Kidner G (1993) Impact resistance of bar glasses. *J Trauma* 35(6): 936-938
- [20] Sterzik V, Kneubuehl P, Rophol D, Bohnert M (2008): Injuring potential of drinking glasses, *Forensic Science International* 179: e19-e23
- [21] Adamec J, Muggenthaler H, Schuller E, Graw M (2010) Zur Biomechanik des Maßkrugschlags. *Rechtsmedizin* 20(4): 370
- [22] Weber W, (1994) Zu Ossifikationsdefekten der Kalotte des Erwachsenen, *Rechtsmedizin* 4: 137-141
- [23] Hottmar P, Havel R (1991). Head injuries caused by beer glasses and bottles. *Soud Lek* 36(3-4): 29-31
- [24] Coomaraswamy KS, Shepherd JP (2003). Predictors and severity of injury in assaults with barglasses and bottles. *Injury Prevention* 9: 81-84
- [25] Warburton AL, Shepherd JP (2000). Effectiveness of Toughened glassware in terms of reducing injury in bars: a randomised controlled trial. *Injury Prevention* 6: 36-40.
- [26] Shepherd JP (1998). The circumstances and prevention of bar-glass injury. *Addiction* 93(1): 5-7.

## 11. Abbildungs und Tabellenverzeichnis

### Abbildungen:

Abb.1: Benninghoff, Alfred et al. 1979: Lehrbuch der Anatomie des Menschen, 12. Aufl., Bd. 3: Nervensystem, Haut und Sinnesorgane. Urban & Schwarzenberg, München, 1979.

Abb. 2: Einteilung der Kopfverletzungen modifiziert nach Schmidt et al (2007)

Abb. 3: Einteilung der Verletzungsmechanismen nach Schmidt et al. (2007)

Abb.4: Die Wandstärken eines Maßkrugs (CT);

Abb 5: Maßkrugschläge (n=31) und daraus resultierende Verletzungen aus den Gutachten des Instituts für Rechtsmedizin München 2004 – 2010

Abb.6: Hirnblutungen aus <http://de.wikipedia.org/wiki/Hirnblutung>, Zugriff am 10.12.2011

Abb. 7 und 8: Bruchmuster Versuchsreihe I vs. Versuchsreihe II

Abb 9: Delle im Alu-Kern des Dummy-Kopfes Hybrid III

### Tabellen:

Tabelle I Gerichtliche Gutachten aus dem Archiv der Rechtsmedizin

Tabelle II

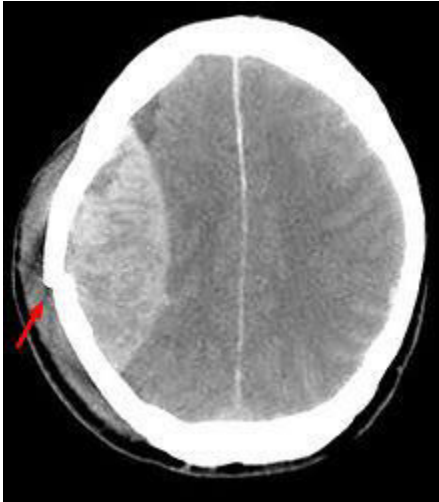
Versuchsreihe I: Gebrauchte Krüge, seitlicher Aufprall

Versuchsreihe II: Gebrauchte Krüge, Aufprall mit dem Boden

Versuchsreihe III: Fabrikneue Krüge, seitlicher Aufprall

Versuchsreihe IV: Fabrikneue Krüge, Aufprall mit dem Boden

**Abb. 6: Hirnblutungen:**



6a Epidurale Blutung bei Fraktur (Pfeil) der Schädelkalotte, CT-Aufnahme



6b Subdurale Blutungen bilden im CT meist eine konkave Form, hier linksseitig



6c Subarachnoidale Blutung in den basalen Zisternen



**Tabelle I** Gerichtliche Gutachten aus dem Archiv der Rechtsmedizin

Fall-Nr.	Alter und Geschlecht Opfer/Täter	Handlung	Verletzungen	Schädel	S/B	Glasbruch
1	28 J. ♂ / 21 J. ♂	1 Schlag auf Kopf	QRW occipital 5 cm	intakt	n.b.	n.b.
2	18 J. ♂ / 19 J. ♂	1 Schlag auf Kopf	QRW occipital 4 cm	intakt	n.b.	n.b.
3	26 J. ♂ / 29 J. ♂	2 Schläge auf Kopf	Commotio cerebri, 2 QRW forntal, parietal 4cm, multiple Hämatome u. Prellungen an Kopf und Gesicht	intakt	n.b.	ja
4	20 J. ♀ / Alter n.b. ♂	1 Schlag auf Kopf	Commotio cerebri, Schnittwunde li. Ohr, RQW retroaurikulär 2cm, Prellung Hand li., Kontusion Knie li.	intakt	n.b.	ja
5	21 J. ♂ / 22 J. ♂	1 Schlag auf Kopf	2 SW oberhalb Ohr li. 5/3cm, SW li. Frontal 2cm, SW retroaurikulär 7cm	intakt	n.b.	ja
6	27 J. ♂ / Alter n.b. ♂	1-4 Schläge auf Kopf	QRW occipital 4 cm, frontal 2 cm, Monokelhämatom, SHT Grad I-II - Intubation bei sekundärer Eintrübung	intakt	n.b.	ja
7	28 J. ♂ / 21 J. ♂	2 Schläge auf Kopf	Meißelverletzung der Kalotte, QRW 7 cm temporo-parietal, Schnittwunde 7 cm occipital	intakt	n.b.	ja
8	37 J. ♂ / 68 J. ♂	1 Schlag auf Kopf	Impressionsfraktur, QRW 4cm frontal li, multiple Exkorationen Nase, Stamm, Arme, Beine	ja	B	n.b.
9	20 J. ♂ / 18 J. ♂	1 Schlag auf Kopf	offenes SHT I°, Impressionsfraktur li. temporal, QRW 4cm frontal, 6cm temporal,	ja	n.b.	n.b.
10	35 J. ♂ / Alter n.b. ♂	2 Schläge auf Kopf	Kalottenimpressionsfraktur re. parietal, QRW parietal 7cm, 4cm, Exkorationen Beine	ja	n.b.	n.b.
11	45 J. ♀ / unbekannt	Wurf auf Kopf	Kalottenfraktur li. temporal, m. epiduraler Blutung, Felsenbeinlängsfraktur li., QRW li. Temporal	ja	n.b.	n.b.
12	37 J. ♂ / 27 J. ♂	1 Schlag auf Kopf	Kontusion occipital re., Hämatom 2x2cm	intakt	n.b.	n.b.
13	19 J. ♂ / 21 J. ♂	2 Schläge auf Kopf	Galeahämatom bds. frontoparietal, 2 QRW temporal li, 4/5 cm, temporal re. 5 cm, occipital 1 cm	intakt	n.b.	ja
14	Alter n.b. ♂ / 27 J. ♂	1 Schlag auf Kopf	Prellmarke occipital, QRW retroaurikulär	intakt	n.b.	ja
15	20 J. ♂ / Alter n.b. ♂	1 Schlag ins Gesicht	Mehrfragmentfraktur der Maxilla mit Verlust und Lockerung von Schneidezähnen, QRW Oberlippe u. Kinn 4cm	intakt	n.b.	nein
16	32 J. ♂ / 19 J. ♂	2 Schläge auf Kopf	SHT, Subdurales Hämatom, Monokelhämatom li., QRW parieto-occipital 5cm, occipital 3cm,	intakt	n.b.	n.b.
17	29 J. ♂ / 20 J. ♂	1 Schlag auf Kopf	Riss-Schnittwunde li frontal, Teilskalpierung m.art. Blutung, 3 SW fronl u. parietal, Exkorationen a. Hals	intakt	n.b.	ja
18	36 J. ♂ / 23 J. ♂	2 Schläge ins Gesicht	Orbitabodenfraktur li. mit Bulbärhämatoom, Contusio bulbi, V.a. Bulbusperforation, FK im Auge li., QRW lat.orbital li, Lidkanteneinriss li.	intakt	n.b.	ja
19	26 J. ♂ / Alter n.b. ♂	1 Schlag auf Kopf	V.a.SAB li.fronto-temporal, perf. Augenverl li., QRW li. Parietal 4cm, frontal 5.5cm, 2cm, 2.5cm, li. Augenbraue 1cm, Oberlid li. 2cm	intakt	n.b.	n.b.
21	20 J. ♂ / 22 J. ♂	1 Schlag auf Kopf	Sprengung Sutura lamdoidea, kl. Intracranielle Blutung re. Occipital, Fraktur Sinus frontalis, supraorb. Hämatom, Fraktur DII, DIII	ja	n.b.	n.b.

Fall-Nr.	Alter und Geschlecht Opfer/Täter	Handlung	Verletzungen	Schädel	S/B	Glasbruch
22	Alter n.b. ♂ / Alter n.b. ♂	1 Schläge auf Kopf	SHT I°, Intubation, QRW frontotemporal li. 3cm, mehrere oberfl. SW seitlich der li. Augenbraue	intakt	n.b.	ja
24	34 J ♂ / 23 J ♂	1 Schlag auf Kopf	Comotio cerebri, QRW 5cm	intakt	B	nein
23	22 J ♂ / Alter n.b. ♂	2 Schläge auf Kopf	QRW li. Augenbraue 2 cm, Hämatom lat. Orbitarand	intakt	n.b.	n.b.
25	20 J ♂ / Alter n.b. ♂	n.bek.	SHT I°, multiple SW	intakt	n.b.	n.b.
26	28 J. ♂ / 25 J. ♂	1 Schlag ins Gesicht	Monokelhämatom li., QRW li. 4cm	intakt	S	n.b.
27	23 J. ♂ / 23 J. ♂	Wurf auf Kopf	QRW, nicht med. versorgt	intakt	n.b.	ja
28	30 J. ♂ / 25 J. ♂	1 Schlag auf Kopf	5 QRW, Otorrhagie	intakt	n.b.	ja
29	Alter n.b. ♂ / 26 J. ♂	1 Schlag auf Kopf	QRW	intakt	n.b.	ja
30	25 J. ♂ / Alter n. b. ♂	Schlag ins Gesicht	Abbruch Schneidezahn mit Verletzung der Unterlippe	intakt	n.b.	n.b.
31	Alter n.b. ♂ / 30 J. ♂	Schlag ins Gesicht	multiple SW Nasenrücken, Stirn li, Augenbraue li, Schläfe re.	intakt	n.b.	n.b.

**Tabelle I:** Verletzungsbilder nach Maßkrugschlägen

S/B ... Schlag mit der Seitenfläche oder den Boden des Maßkruges

♂ ... männlich

♀ ... weiblich

QRW. ... Quetsch-Riss-Wunde

SW. ... Schnittwunde

n.b. ... nicht bekannt

## Tabelle II

### Versuchsreihe I: Gebrauchte Krüge, seitlicher Aufprall (n=13)

Maßkrug Nr.	Schlag Nr.	Aufprallgeschw. (ms)	Kraft (kN)	Bruch
1	1	5,9	7,0	nein
	2	9,0	5,3	ja
2	1	5,7	4,0	ja
3	1	3,4	6,6	nein
	2	6,7	4,2	ja
4	1	7,2	5,2	ja
5	1	4,5	4,8	nein
	2	6,3	4,7	ja
6	1	4,8	3,2	ja
7	1	5,1	5,2	nein
	2	5,0	2,8	nein
	3	8,6	5,2	ja
8	1	4,9	4,2	nein
	2	6,6	5,3	ja
9	1	4,3	5,2	nein
	2	3,1	6,3	ja
10	1	4,7	5,8	nein
	2	6,5	3,5	ja
11	1	11,4	3,8	ja
12	1	11,7	3,5	ja
18	1	6,7	3,8	ja

#### Anmerkung:

Die Krüge 11,12,18 wurden zunächst in Versuchsreihe 2 mit dem Boden auf die Schädelattrappe geschlagen und gingen dort nicht zu Bruch. Anschließend erfolgte ein Schlag mit der Seitenfläche in der hiesigen Versuchsreihe, der zum Bruch führte.

## Versuchsreihe II: Gebrauchte Krüge, Aufprall mit dem Boden (n=10)

Maßkrug Nr.	Schlag Nr.	Aufprallgeschw. (ms)	Kraft (kN)	Bruch
11	1	5,7	4,1	nein
	2	6,6	3,8	nein
	3	8,4	5,2	nein
	4	10,0	5,8	nein
	5	10,3	8,4	nein
	6	11,4	9,7	nein
	7	13,0	9,4	nein
	8	13,9	10,7	nein
12	1	12,7	7,9	nein
	2	13,7	8,6	nein
	3	14,5	10,0	nein
13	1	12,9	5,4	nein
	2	13,1	6,8	ja
14	1	12,4	4,9	ja
15	1	8,8	4,5	nein
	2	11,1	4,5	nein
	3	11,9	7,6	nein
	4	13,0	7,7	nein
	5	13,5	9,0	nein
	6	13,5	8,4	nein
	7	13,6	8,8	nein
	8	14,8	8,7	ja
16	1	Messfehler	Messfehler	ja
17	1	Messfehler	Messfehler	ja
18	1	11,0	9,7	nein
	2	10,8	9,8	nein
	3	11,8	10,2	nein
19	1	7,5	9,5	nein
	2	9,2	10,2	nein
	3	6,4	4,2	ja
20	1	9,4	6,4	ja

### Anmerkung:

Die Krüge 16 und 17 gingen beim Aufprall mit dem Boden zu Bruch, allerdings wurden aufgrund eines Messfehlers die Bodenreaktionskraft und die Aufprallgeschwindigkeit nicht gemessen.

### Versuchsreihe III: Fabrikneue Krüge, seitlicher Aufprall (n=12)

Maßkrug Nr.	Schlag Nr.	Aufprallgeschw. (ms)	Kraft (kN)	Bruch
21	1	7,1	6,6	ja
22	1	4,8	5,5	nein
	2	6,0	7,7	nein
	3	6,3	7,8	nein
	4	7,1	9,1	nein
	5	7,9	4,5	ja
23	1	5,4	7,2	nein
	2	6,9	9,7	nein
	3	7,7	9,5	nein
	4	8,9	8,8	nein
	5	9,5	9,7	nein
	6	10,3	11,0	nein
	7	10,1	10,2	nein
24	1	6,8	8,1	nein
	2	8,9	8,5	nein
	3	9,2	9,1	nein
	4	10,3	11,0	nein
25	1	7,9	9,2	nein
	2	9,1	9,9	nein
	3	9,3	10,3	nein
	4	11,6	11,1	nein
26	1	9,1	9,1	nein
	2	10,9	11,0	nein
27	1	8,0	8,2	nein
	2	8,1	6,8	nein
	3	8,9	10,2	nein
28	1	9,7	10,1	nein
29	1	9,5	10,1	nein
30	1	8,5	10,5	nein
31	1	8,8	11,1	nein
32	1	7,3	8,2	nein
	2	7,0	7,6	nein
	3	9,6	9,5	nein
	4	10,4	10,3	nein

**Anmerkung:**

Die Krüge 31 und 32 wurden sowohl ins Versuchsreihe III und IV verwendet; da sie beim seitlichen Aufprall nicht zu Bruch gingen, erfolgte der Schlag mit dem Boden.

## Versuchsreihe IV: Fabrikneue Krüge, Aufprall mit dem Boden (n=10)

Maßkrug Nr.	Schlag Nr.	Aufprallgeschw. (ms)	Kraft (kN)	Bruch
31	1	9,7	10,8	nein
32	1	9,0	11,0	nein
33	1		>10,0	nein
34	1		>10,0	nein
35	1		>10,0	nein
36	1		>10,0	nein
27	1		>10,0	nein
28	1		>10,0	nein
29	1		>10,0	nein
30	1		>10,0	nein

Anmerkung:

Die Krüge 27-32 wurden doppelt verwendet, sowohl in Versuchsreihe III und IV.

**Abb. 7 Bruchmuster Versuchsreihe I**



**Abb. 8: Bruchmuster Versuchsreihe II**



**Abb. 9: Delle im Alu-Kern des Dummy-Kopfes Hybrid III**



Dorfner Petra  
Rosenheimer Str. 92  
81669 München.

**Ehrenwörtliche Erklärung zu meiner Dissertation mit dem Titel:**

Analyse von Maßkrugschlägen hinsichtlich potentiell lebensgefährlicher  
Schädelfrakturen

Sehr geehrte Damen und Herren,

hiermit erkläre ich, dass ich die beigefügte Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel genutzt habe. Alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen habe ich als solche gekennzeichnet.

Ich versichere außerdem, dass ich die beigefügte Dissertation nur in diesem und keinem anderen Promotionsverfahren eingereicht habe und, dass diesem Promotionsverfahren keine endgültig gescheiterten Promotionsverfahren vorausgegangen sind.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift