

Diplomarbeit

VERLETZUNGEN DURCH FEUERWERKSKÖRPER
Eine retrospektive Studie (2006 – 2017)

eingereicht von
Patrizia Zach

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der gesamten Heilkunde
(Dr. med. univ.)

an der
Medizinischen Universität Graz

ausgeführt am
Universitätsklinikum für Chirurgie
Klinische Abteilung für Plastische, Ästhetische und
Rekonstruktive Chirurgie

unter der Anleitung von
Dr.med.univ. Alexandru-Cristian Tuca
Univ. Prof. Dr.med. Lars-Peter Kamolz, MSc.

Graz, am 25.09.2017

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 25.09.2017

Patrizia Zach eh

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während des Verfassens meiner Diplomarbeit unterstützt und motiviert haben.

Mein Größter Dank gilt meinen beiden Diplomarbeitbetreuern Dr.med.univ. Alexandru-Cristian Tuca und Univ.Prof. Dr.med. Lars-Peter Kamolz, MSc., die mir dieses Thema zur Verfügung gestellt haben und mir immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind.

Des Weiteren bedanke ich mich bei meiner Familie, insbesondere bei meinen Eltern die mir dieses Studium überhaupt erst ermöglicht haben. Danke, dass ihr immer ein offenes Ohr für mich habt, mich in jeder Lebenslage unterstützt und ich mich immer auf euch verlassen kann.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meinen Freunden und Studienkollegen bedanken, ohne die meine Studienzeit in Graz nicht zur schönsten meines Lebens gehören würde.

Zusammenfassung

Einleitung

Feuerwerke werden weltweit zu besonderen Anlässen wie kulturellen oder religiösen Feiertagen verwendet. In Österreich wird vielerorts das neue Jahr mit einem Feuerwerk begrüßt. Immer wieder kommt es im Zusammenhang damit zu Unfällen mit schweren Verletzungen. Der Handel und die Verwendung von Feuerwerkskörpern sind im österreichischen Pyrotechnikgesetz geregelt. Da bei einer Explosion verschiedene Mechanismen auf den menschlichen Körper einwirken, führen Unfälle mit Feuerwerkskörpern zu verschiedenen Verletzungsarten wie Verbrennungen, Weichteilverletzungen, Frakturen oder Amputationen. Die Therapie dieser vielseitigen Verletzungen setzt sich aus verschiedenen Verfahren wie dem primären Hautverschluss, Hauttransplantationen oder Lappenplastiken zusammen.

Material und Methoden

Im Rahmen der Diplomarbeit wurden retrospektiv die Daten aller PatientInnen, die im Zeitraum zwischen dem 01.01.2006 und dem 01.01.2017, aufgrund einer Verletzung durch Feuerwerkskörper an der Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie sowie an der Abteilung für Allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie des LKH Graz in Behandlung waren, ausgewertet. Folgende Parameter wurden erhoben: Alter, Geschlecht, Unfalldatum, Anzahl der Verletzungen, betroffene Körperstelle, Verletzungsart, Behandlungsmethode, Behandlungsdauer und Folgeschäden. Das Ziel der Studie ist die Analyse der Häufigkeitsverteilung. Die Daten wurden aus den elektronischen Krankenakten (MEDOCS), Ambulanzkarten, OP-Berichten und Dienstberichten gesammelt. Die Auswertung erfolgte mittels deskriptiver Statistik.

Ergebnisse

Im angegebenen Zeitraum waren 15 PatientInnen an der Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie und 7 PatientInnen an der Abteilung für Allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie in Behandlung. 63,6% der Unfälle ereigneten sich rund um Silvester bzw. Neujahr. Männer waren deutlich häufiger

betroffen als Frauen. Der Altersdurchschnitt lag bei 24,6 Jahren. Die Verletzungen traten am häufigsten im Bereich des Kopfes sowie der Hände auf. Unter den Erwachsenen kam es besonders oft zu knöchernen Verletzungen, während PatientInnen der Kinderchirurgie am häufigsten unter Verbrennungen litten. In der Mehrzahl der Fälle traten jedoch mehrere Verletzungsarten in Kombination auf. Sowohl konservative als auch operative Behandlungsmethoden kamen zum Einsatz. Die stationäre Aufenthaltsdauer betrug im Durchschnitt 9,2 Tage. Bei 8 PatientInnen wurde das Auftreten von Folgeschäden dokumentiert.

Schlussfolgerung

Trotz strenger Reglementierungen durch das Pyrotechnikgesetz kommt es in Österreich, vor allem zu Silvester, zu Unfällen mit Feuerwerkskörpern. Eine besondere Gefahr stellen dabei illegal erworbene Feuerwerkskörper aus dem Ausland dar. Da viele der Betroffenen in peripheren Krankenhäusern versorgt werden, kommt nur ein kleiner Teil der Verletzten, vorrangig jene mit schweren Verletzungen, zur Behandlung ins LKH Graz. Die Bandbreite der Verletzungen reicht dabei von leichten Verbrennungen, über Weichteilverletzungen bis hin zu Amputationen. Für PatientInnen mit schweren Verletzungen ist die Behandlung in einem Zentrum, wie dem LKH Graz, von besonders großer Bedeutung. Um Folgeschäden möglichst zu verhindern bzw. so gering wie möglich zu halten, bedarf es einer engen interdisziplinären Zusammenarbeit.

Abstract

Introduction

Fireworks are used worldwide to celebrate special occasions such as cultural or religious holidays. In many Austrian places the new year is welcomed with a firework. In conjunction with fireworks, accidents with serious injuries happen repeatedly. Trade and use of fireworks are regulated by the Austrian Pyrotechnics Act. Since various mechanisms affect the human body during an explosion, firework-related accidents lead to various types of injuries such as burns, soft tissue injuries, fractures or amputations. Therapy consists of different procedures such as primary skin closure, skin grafting or flap techniques.

Methods

Based on retrospective data analysis firework-related injuries of all patients who underwent treatment between 01.01.2006 and 01.01.2017 at the Department of Plastic, Aesthetic and Reconstructive Surgery and the Department of Pediatric Surgery at the University Clinic of Graz were evaluated. The following parameters were recorded: age, gender, date of injury, number of injuries, affected body part, type of injury, method of treatment and secondary damage. The aim of the study is the analysis of the frequency distribution. The data were collected from MEDOCS. Evaluation was performed by descriptive statistics.

Results

In the given period 15 patients were treated at the Department of Plastic, Aesthetic and Reconstructive Surgery and 7 patients at the Department of Pediatric Surgery. 63.6 percent of the accidents arose around New Year's Eve. Men were significantly more affected than women. The average age was 24.6 years. The injuries occurred most frequently around the head as well as the hands. Among the adults, most common were bony injuries while pediatric patients predominantly suffered from burns. In most cases, several types of injuries occurred in combination. Both conservative and operative procedures were employed. On average, patients spent 9.2 days in hospital. In 8 cases, secondary damage was documented.

Conclusion

Despite strict regulation, firework-related injuries occur in Austria especially on New Year's Eve. Illegally acquired fireworks from abroad are a special danger. Since many of the affected persons are taken care of in peripheral hospitals, only a small part of patients, mainly those with serious injuries, are taken to the University Clinic of Graz for treatment. The range of injuries reaches from mild burns, to soft tissue injuries and amputations. For severely injured patients, the treatment in a big trauma centre is particularly important. To prevent or minimize secondary damage, close interdisciplinary cooperation is required.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	ii
Zusammenfassung.....	iii
Abstract	v
Inhaltsverzeichnis.....	vii
Glossar und Abkürzungen	ix
Abbildungsverzeichnis	x
Tabellenverzeichnis	xi
1 Einleitung.....	1
1.1 <i>Feuerwerkskörper – pyrotechnische Gegenstände</i>	1
1.1.1 Kategorie „F“ – pyrotechnische Gegenstände für Unterhaltungszwecke.....	1
1.1.2 Kategorie „T“ – pyrotechnische Gegenstände für Bühne und Theater.....	3
1.1.3 Kategorie „P“ – sonstige pyrotechnische Gegenstände.....	3
1.1.4 Kategorie „S“ – lose pyrotechnische Sätze.....	4
1.1.5 Allgemeine Verbote.....	4
1.1.6 CE-Konformität	4
1.1.7 Strafbestimmungen.....	5
1.2 <i>Pathophysiologie der Explosionsverletzung</i>	6
1.3 <i>Verletzungsarten</i>	8
1.3.1 Verbrennungen.....	8
1.3.2 Weichteilverletzungen	12
1.3.3 Amputationsverletzungen.....	14
1.4 <i>Therapiemöglichkeiten</i>	15
1.4.1 Die rekonstruktive Leiter	16
1.4.2 Replantation	22
1.4.3 Daumenrekonstruktion	24
2 Material und Methoden.....	27
2.1 <i>Zielsetzung</i>	27
2.1.1 Zielgrößen.....	27
2.2 <i>PatientInnenkollektiv</i>	28
2.3 <i>Datenerhebung und Datenverarbeitung</i>	28

2.4	<i>Statistische Auswertung</i>	29
2.5	<i>Ethikvotum</i>	29
3	Ergebnisse – Resultate	30
3.1	<i>Demographische Daten</i>	33
3.2	<i>Häufigkeitsverteilung 2006 – 2017</i>	34
3.3	<i>Betroffene Körperstellen</i>	35
3.4	<i>Art der Verletzungen</i>	38
3.5	<i>Behandlungsmethode</i>	41
3.6	<i>Stationärer Aufenthalt</i>	43
3.7	<i>Folgeschäden</i>	44
4	Diskussion	46
5	Schlussfolgerungen	51
6	Literaturverzeichnis	52

Glossar und Abkürzungen

A.	Arteria
bzw.	beziehungsweise
CMC-Gelenk	Karpometakarpalgelenk
EU	Europäische Union
HNO	Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde
ICD	International Classification of Disease
KOF	Körperoberfläche
LKH-Graz	Landeskrankenhaus Graz
OP	Operation
z.B.:	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel für eine korrekte und vollständige Kennzeichnung eines EU-konformen pyrotechnischen Erzeugnisses der Kategorie F1 (Knallerbse) (1).....	5
Abbildung 2: Verbrennungsgrade (11)	10
Abbildung 3: Neuner-Regel nach Wallace (11)	11
Abbildung 4: Lappenplastiken an den Fingern (11)	20
Abbildung 5: primäre Deckung durch einen gestielten Leistenlappen (5)	21
Abbildung 6: Entscheidungsbaum "Amputationsverletzungen im Handbereich" (15).....	23
Abbildung 7: Großzehentransplantation prä- und postoperativ (27)	25
Abbildung 8: Rekonstruktion durch die 2. Zehe intra- und postoperativ (27)	25
Abbildung 9: Pollizisation des Zeigefingers intra- und postoperativ (25).....	26
Abbildung 10: Datenerhebung und PatientInnenkollektiv	30
Abbildung 11: Häufigkeitsverteilung 2006 - 2017	34
Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung der betroffenen Körperstellen	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unfalldatum, demographische Daten und behandelnde Abteilung.....	32
Tabelle 2: demographische Daten	33
Tabelle 3: Häufigkeitsverteilung der betroffenen Körperstellex.....	35
Tabelle 4: betroffene Körperstellen der einzelnen PatientInnen	37
Tabelle 5: Häufigkeitsverteilung der Verletzungsarten	38
Tabelle 6: Verletzungsarten der einzelnen PatientInnen	40
Tabelle 7: Behandlungsmethode	41
Tabelle 8: Dauer des stationären Aufenthaltes.....	43
Tabelle 9: Folgeschäden.....	44
Tabelle 10: Folgeschäden der einzelnen PatientInnen.....	45

1 Einleitung

1.1 Feuerwerkskörper – pyrotechnische Gegenstände

Feuerwerke und Böller werden weltweit zu besonderen Anlässen, wie Geburtstagen, Hochzeiten, kulturellen oder religiösen Feiertagen verwendet. Vielerorts in Österreich wird traditionell das neue Jahr mit einem Feuerwerk begrüßt. Immer wieder kommt es dabei jedoch zu Unfällen mit mehr oder weniger schweren Verletzungen.

Diese Unfälle sind häufig auf Sorglosigkeit, Unachtsamkeit und die missbräuchliche Verwendung der Feuerwerkskörper zurückzuführen. Die Verwendung von pyrotechnischen Gegenständen aus dem benachbarten Ausland oder unseriösen Händlern stellt, da diese oft nicht den geforderten Qualitäts- und Zulassungsbestimmungen entsprechen, außerdem eine erhebliche Gefahr dar. Feuerwerkskörper und Böller sollten daher nur im österreichischen Fachhandel erworben werden. Im Zusammenhang mit sorgfältiger und verantwortungsvoller Handhabung von für den Normalverbraucher zugelassenen Feuerwerkskörpern der Kategorien F1 und F2 kann so das Risiko minimiert werden. Die genauen rechtlichen Bestimmungen bezüglich Kategorisierung und CE-Konformität sind im Pyrotechnikgesetz 2010 geregelt. (1)

1.1.1 Kategorie „F“ – pyrotechnische Gegenstände für Unterhaltungszwecke

Pyrotechnische Gegenstände für Unterhaltungszwecke, wie die oft hierzulande verwendeten Wunderkerzen, Feuerwerksraketen und Knallkörper, werden je nach der von ihnen ausgehenden Gefahr in die Kategorien F1 bis F4 eingeteilt. (1,2)

Kategorie F1:

Bei dieser Kategorie handelt es sich um Feuerwerkskörper, die eine sehr geringe Gefahr darstellen sowie einen vernachlässigbaren Lärmpegel besitzen. Pyrotechnische Gegenstände dieser Kategorie dürfen ab einem Mindestalter von

12 Jahren verwendet und besessen werden. Die Verwendung dieser Kategorie ist in geschlossenen Räumen zulässig, sofern der Gebrauchsanweisung keine anderen Bestimmungen zu entnehmen sind. Hier gelten keine besonderen Besitz- oder Verwendungsbestimmungen. Beispiele: Knallerbsen, Torten-Sprüher, Wunderkerzen, Tischfeuerwerke, Party-Popper, Babyraketen, Handfontänen (1,2)

Kategorie F2:

Hierbei handelt es sich um Feuerwerkskörper mit geringer Gefahr und geringem Lärmpegel, die ab einem Mindestalter von 16 Jahren verwendet werden dürfen. Die Verwendung in geschlossenen Räumen, im Ortsgebiet sowie in unmittelbarer Nähe größerer Menschenansammlungen, ist nicht zulässig. Für Feuerwerkskörper dieser Kategorie bestehen ebenfalls keine besonderen Besitz- und Verwendungsbestimmungen. Beispiele: Feuerwerksraketen, Knallfrösche, Vulkane, kubische Kanonenschläge, Knallkörper, Fontänen, Batterief Feuerwerke, Sonnen, Römische Lichter (1,2)

Kategorie F3:

Diese Kategorie umfasst professionelle Feuerwerkskörper, die eine mittlere Gefahr darstellen und deren Lärm die menschliche Gesundheit nicht gefährdet. Zur Verwendung muss ein Mindestalter von 18 Jahren bestehen und Sachkunde in Form eines Pyrotechnikausweises für diese Kategorie nachgewiesen werden. Der Erwerb, Besitz und die Verwendung sind nur mit einer behördlichen Bewilligung erlaubt. Die einzuhaltenden Sicherheits- und Verwendungsbestimmungen werden im Bewilligungsbescheid vorgeschrieben. (1,2)

Kategorie F4:

Hierbei handelt es sich um professionelle Feuerwerkskörper, welche eine große Gefahr darstellen, deren Lärmpegel die menschliche Gesundheit jedoch nicht gefährdet. Feuerwerkskörper dieser Kategorie dürfen daher nur von professionellen Pyrotechnikern verwendet werden. Es muss ein Mindestalter von 18 Jahren gegeben sein und die Fachkenntnis durch einen Pyrotechnikausweis für die Kategorie F4 nachgewiesen werden. Auch hier sind Erwerb, Besitz und

Verwendung nur mit einer behördlichen Bewilligung erlaubt. Die Sicherheits- und Verwendungsbestimmungen werden auch für diese Kategorie im Bewilligungsbescheid vorgeschrieben. (1,2)

1.1.2 Kategorie „T“ – pyrotechnische Gegenstände für Bühne und Theater

Kategorie T1:

Zu dieser Kategorie zählen Bühnenfeuerwerkskörper, die nur eine geringe Gefahr darstellen und ab einem Mindestalter von 18 Jahren verwendet werden dürfen. Diese pyrotechnischen Gegenstände dürfen in geschlossenen Räumen zum Beispiel auf Bühnen oder in Theatern und im Ortgebiet verwendet werden. Es gelten keine besonderen Besitz- und Verwendungsbestimmungen. (1,2)

Kategorie T2:

Hierbei handelt es sich ebenfalls um Bühnenfeuerwerkskörper, welche jedoch nur von professionellen Pyrotechnikern, die die benötigte Fachkenntnis in Form eines Pyrotechnikausweises für diese Kategorie aufweisen können, verwendet werden dürfen. Das Mindestalter beträgt 18 Jahre. Der Erwerb, Besitz und die Verwendung dieser pyrotechnischen Gegenstände ist jedoch nur mit behördlicher Bewilligung, welche die Sicherheits- und Verwendungsbestimmungen vorschreibt, erlaubt. (1,2)

1.1.3 Kategorie „P“ – sonstige pyrotechnische Gegenstände

Kategorie P1:

Pyrotechnische Gegenstände mit geringer Gefahr, die ab einem Mindestalter von 18 Jahren verwendet werden dürfen, zählen zu dieser Kategorie. Die Verwendung im Ortsgebiet ist zulässig und es gelten keine besonderen Besitz- und Verwendungsbestimmungen. (1,2)

Kategorie P2:

Zu dieser Kategorie zählen pyrotechnische Gegenstände, die nur von Personen mit Fachkenntnissen in Form eines Pyrotechnikausweises und mit einem Mindestalter von 18 Jahren verwendet werden dürfen. Auch hier ist für den

Erwerb, Besitz und die Verwendung eine behördliche Bewilligung notwendig. Beispiele für die Kategorie P: pyrotechnische Anzündmittel, Fackeln, Knallkartuschen und Böllerpatronen, Gasgeneratoren für die Fahrzeugindustrie, Raketenmotoren für den Modellbau, Schallerzeuger, pyrotechnische Feuerlöschsysteme (1,2)

1.1.4 Kategorie „S“ – lose pyrotechnische Sätze

Kategorie S1:

Zu dieser Kategorie zählen Bengalf Feuer-, Schellack- und Rauchpulver. Das Mindestalter für die Verwendung liegt bei 16 Jahren. (1,2)

Kategorie S2:

Hierbei handelt es sich um alle anderen pyrotechnischen Sätze. Die Verwendung ist ab einem Mindestalter von 18 Jahren und mit der benötigten Fachkenntnis in Form eines Pyrotechnikausweises möglich. Eine behördliche Bewilligung ist einzuholen. (1,2)

1.1.5 Allgemeine Verbote

Zusätzlich zu den Sicherheits- und Verwendungsbestimmungen der einzelnen Kategorien gelten die nachfolgenden Verbote für pyrotechnische Gegenstände aller Arten und Kategorien. Die nichterwerbliche Herstellung von pyrotechnischen Sätzen und Gegenstände sowie das Zerlegen sind verboten. Innerhalb und in unmittelbarer Nähe von Kirchen, Gotteshäusern, Krankenanstalten, Kinder-, Alters- und Erholungsheimen sowie Tierheimen und Tiergärten dürfen grundsätzlich keine pyrotechnischen Gegenstände verwendet werden. In der Nähe von leicht entzündlichen oder explosionsgefährdeten Gegenständen oder Orten, zum Beispiel einer Tankstelle, ist die Verwendung ebenfalls nicht zulässig. (1,2)

1.1.6 CE-Konformität

Pyrotechnische Gegenstände müssen ein Konformitätsbewertungsverfahren (nach der EU-Richtlinie) bei einer benannten Stelle positiv durchlaufen um am Binnenmarkt in Verkehr gebracht werden zu dürfen. Als Zeichen dieser EU-

Konformität erhalten sie ein CE-Kennzeichen. Zusätzlich muss die Registriernummer der benannten Stelle ersichtlich sein. Eine standardisierte Kennzeichnung, sowie eine Gebrauchsanleitung in der jeweiligen Landessprache sind ebenfalls verpflichtend anzubringen. (1,2)



Abbildung 1: Beispiel für eine korrekte und vollständige Kennzeichnung eines EU-konformen pyrotechnischen Erzeugnisses der Kategorie F1 (Knallerbse) (1)

1.1.7 Strafbestimmungen

Erzeuger und Händler, welche nicht zulässige pyrotechnische Gegenstände verkaufen, droht eine Verwaltungsstrafe von bis zu 10.000 € oder eine Freiheitsstrafe bis zu 6 Wochen. Verstöße, wie z.B.: die Verwendung an unzulässigen Orten oder die Nichteinhaltung der Altersbestimmungen können mit einer Verwaltungsstrafe von bis zu 3.600 € oder mit einer Freiheitsstrafe bis zu 3 Wochen geahndet werden. (1,2)

1.2 Pathophysiologie der Explosionsverletzung

Bei einer Explosion wirken verschiedene Mechanismen auf den menschlichen Körper. Die daraus resultierenden Verletzungsmuster sind abhängig vom verwendeten Sprengsatz, aber auch vom Explosionsort. Kommt es auf einer freien Fläche zur Detonation, nimmt die traumatisierende Wirkung mit der Entfernung vom Explosionsort exponentiell ab, während sich im Gegensatz dazu die Wirkung innerhalb eines geschlossenen Raumes noch verstärken kann. (3) Verschiedene Feuerwerkskörper führen zu unterschiedlichen Verletzungsarten. So kommt es durch Fontänen, Bodenfeuerwirbel und Wunderkerzen nur zu Verbrennungen, während Böller und Feuerwerksraketen zu einer Vielzahl an Verletzungen wie Verbrennungen, Rissquetschwunden, Knochenbrüchen und Amputationsverletzungen führen. (4)

Unabhängig von den oben genannten Faktoren, kann man bei einer Explosion fünf verschiedene Verletzungstypen unterscheiden. (3)

Primäre Explosionsverletzungen werden durch Druckunterschiede hervorgerufen. Der durch die Explosion plötzlich entstehende Überdruck wird durch eine Explosionswelle fortgeleitet. Hauptsächlich davon betroffen sind luftgefüllte Organe wie das Mittelohr oder die Lunge. (3) Aber auch in flüssigkeitsgefüllten Räumen, wie den Gefäßen, Muskeln und Sehnenscheiden kommt es zu zerstörerischen Auswirkungen. Zerreißen der Gefäßintima mit nachfolgender Thrombose und das Zerplatzen der Faszien um die intrinsischen Handmuskeln sind hier die Folge. (5) Philipson und Southern (6) wurden bei ihren Fallberichten auf die proximale Ausbreitung der Druckwelle entlang der Beugesehnen bis in den Karpaltunnel aufmerksam. In weiterer Folge kam es dadurch zu einem akuten Karpaltunnelsyndrom mit der Kompression des Nervus medianus. Die verschiedenen Gewebe reagieren also unterschiedlich. Da es sich bei Arterien, Venen und Nerven um elastischeres Gewebe handelt, kommt es hier eher zu Überdehnungen und Quetschungen mit nachfolgenden Funktionseinschränkungen. Diese Verletzungen sind oft auf den ersten Blick makroskopisch nicht sichtbar. Im Gegensatz dazu, führt die Druckwelle bei Knochen zu Frakturen. (7)

Bei der sekundären Explosionswirkung kommt es durch Fragmente, die sich exzentrisch vom Explosionsort ausbreiten, zu penetrierenden Verletzungen. Diese Fragmente werden mit bis zu 1800 m/s vom Zentrum der Explosion weggesprengt und können aufgrund ihrer Form und der exzentrisch rotierenden Flugbahn eine 20- bis 25-mal größere Wundhöhle im Vergleich zu ihrer Größe verursachen. (3) In weiterer Folge kann es durch die Einsprengung von Splintern in die Wunde zu Entzündungen oder thermischen und chemischen Reaktionen des Gewebes kommen. (7) Explosionsverletzungen gelten daher obligat als kontaminiert, wobei das Keimspektrum stark variieren kann. (8)

Zu den tertiären Explosionsfolgen zählen jene Verletzungen, welche durch Einstürze und Zersplitterung von Häusern oder Fahrzeugen verursacht wurden. Auch das Schleudern von Personen durch die Explosionswelle gegen solide Gegenstände zählt hierzu. Multiple Verletzungen im Bereich des gesamten Körpers, sowohl stumpf oder penetrierend, können die Folge sein. (3)

Verbrennungen und Inhalationstraumata werden unter den quartären Explosionsverletzungen zusammengezählt. (3)

Um der neuen Dimension des Terrorismus gerecht zu werden, wurden die quintären Explosionsverletzungen als Ergänzung zu den Verletzungstypen mitaufgenommen. Darunter versteht man Verletzungen, welche durch toxische Reaktionen, hervorgerufen durch infektiöse, chemische oder radioaktive Sprengsatzzusätze, verursacht werden. (3)

Hazani et al (9) konnten bei Ihren PatientInnen ein eigenes Verletzungsmuster, welches die Hyperextension und Hyperabduktion der Hand und Finger beinhaltet, nachweisen. Dieses Verletzungsmuster trat auf, wenn der explodierende Gegenstand in der dominanten Hand gehalten wurde. In Assoziation dazu kam es zu Weichteilverletzungen bis hin zu traumatischen Amputationen. Besonders betroffen war dabei die radiale Seite der Hand inklusive Daumen, Zeigefinger und Handfläche.

Wie bereits erwähnt, sind Unfälle mit pyrotechnischen Gegenständen häufig auf Sorglosigkeit, Unachtsamkeit und die missbräuchliche Verwendung der Feuerwerkskörper zurückzuführen. (1) Eine Studie von Puri et al (4), in welcher evaluiert wurde wie es zu Verletzungen mit Feuerwerkskörpern gekommen war, kann diese Aussage bestätigen. Der Großteil der PatientInnen wurden aufgrund von falscher Anwendung und Produktfehlern verletzt, jedoch kamen auch unbeteiligte Zuseher zu Schaden.

1.3 Verletzungsarten

Verletzungen, die durch Feuerwerkskörper verursacht werden, sind sehr vielseitig. Die Bandbreite reicht von oberflächlichen Verbrennungen über Verletzungen, die Haut, Muskeln, Sehnen, Nerven, Gefäße und Knochen betreffen können, bis hin zu Amputationsverletzungen. (10)

1.3.1 Verbrennungen

Bei einer Verbrennung handelt es sich um eine thermische Schädigung der Haut, der Hautanhangsgebilde und gegebenenfalls auch tiefer liegender Gewebe.

Durch die direkte thermische Schädigung der Zelle kommt es zunächst durch Denaturierung von Struktur- und Enzymproteinen zu einer Koagulationsnekrose. In weiterer Folge führt die Zerstörung des Gefäßnetzes der Endstrombahn und die Aktivierung und Freisetzung von Entzündungsmediatoren zu einer systemischen Entzündungsreaktion und einem fortschreitenden lokalen Zellschaden.

Histologisch können Verbrennungswunden in drei konzentrische Zonen unterteilt werden: Im Zentrum befindet sich die Nekrosezone, gefolgt von der Zone der Stase, welche in die Zone der Hyperämie übergeht.

Das Ausmaß der Schädigung ist dabei anhängig von der Temperatur und der Einwirkdauer. So kommt es ab einer Temperatur von 45°C und einer Einwirkdauer von einer Stunde zum Zelltod. Bei einer Temperatur von 70°C kommt es bereits nach 1-2 Sekunden zu einer Verbrennung 3. Grades.

Für die Schwere der Verbrennung sind zwei Faktoren entscheidend:

- Verbrennungsgrad
- Verbrannte Körperoberfläche (KOF)

1.3.1.1 Verbrennungsgrade

Grad I

Es kommt zu Rötung, Schwellung und Schmerzen, vergleichbar mit einem Sonnenbrand. Hierbei entsteht eine Schädigung der Epidermis, eine konservative Therapie ist ausreichend.

Grad II

Die Verbrennung zweiten Grades ist durch Blasenbildung, Schmerzen und Schwellung charakterisiert und kann weiter in Grad IIa und Grad IIb unterteilt werden.

IIa: Hierbei kommt es zu einer Schädigung der Epidermis und oberflächlichen Dermis. Diese Verbrennung geht mit Blasenbildung, starken Schmerzen und einer wegdrückbaren Rötung einher.

IIb: Es kommt zu einer Schädigung der Epidermis und tiefen Dermis, wobei Haarfollikel und Hautanhangsgebilde erhalten bleiben. Blasenbildung und Schmerzen treten auch hier auf, jedoch kommt es zu einer nicht wegdrückbaren Rötung. Eine chirurgische Intervention ist erforderlich.

Grad III

Verbrennungen dritten Grades sind schmerzlos, die Haut ist grau-schwarz-weiß mit lederartigen Gebieten, weiters kommt es zu einem Verlust der Haare und Nägel. Es handelt sich hier um eine Schädigung der kompletten Dermis und eventuell der Subkutis.

Hier bedarf es einer genauen ärztlichen Begutachtung und chirurgischer Intervention.

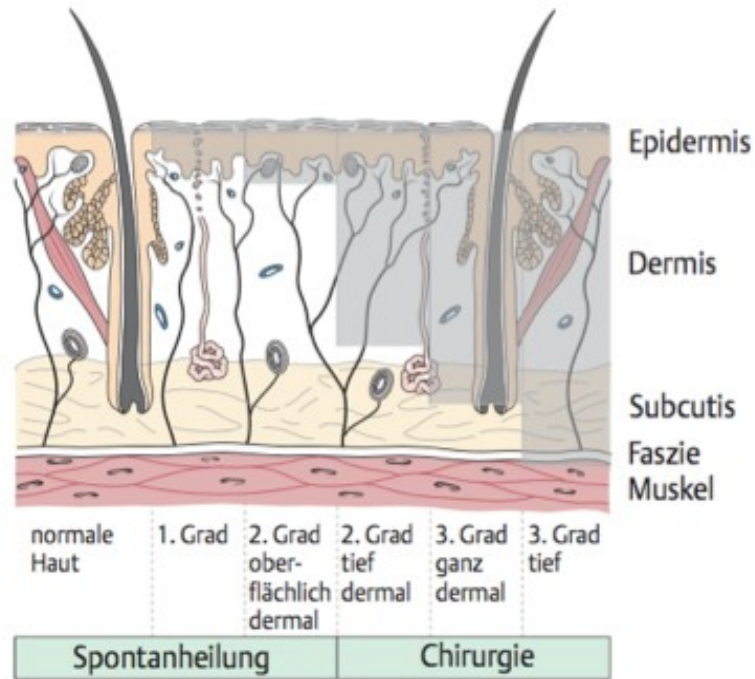
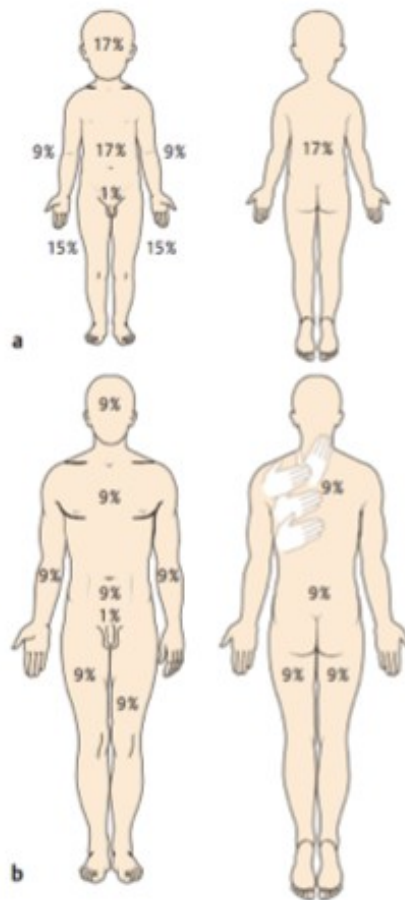


Abbildung 2: Verbrennungsgrade (11)

1.3.1.2 Verbrennungsfläche

Die Ausdehnung der Verbrennung wird bei Erwachsenen mit der Neuner-Regel nach Wallace bestimmt. Die Körperoberfläche wird dabei in Regionen aufgeteilt, die jeweils 9% der Körperoberfläche entsprechen.

Bei Kindern ist die Neuner-Regel nicht bzw. nur geändert anwendbar, da der Kopf im Verhältnis zum Körper einen größeren Anteil als beim Erwachsenen einnimmt. Hier kann man folgende Faustregel anwenden: Die Handfläche der PatientIn entspricht ca. 1% der Körperoberfläche. (11)



**Abbildung 3: Neuner-Regel nach Wallace
(11)**

a beim Kind, **b** beim Erwachsenen

1.3.1.3 Chirurgische Behandlung akuter Verbrennungen

Für die Therapieplanung ist eine exakte Schwerebeurteilung der Verbrennung notwendig.

Bei Verbrennungen I. Grades sind heilungsfördernde Salben ausreichend, die Heilung erfolgt ohne Narbenbildung.

Bei Grad IIa Verbrennungen wird die selbstständige Reepithelialisierung des Körpers ausgenutzt, welche je nach Ausmaß 7-15 Tage dauert. Es werden desinfizierende Verbände verwendet, um eine lokale Keimreduktion zu erzielen.

Verbrennungen tiefen II. und III. Grades werden frühzeitig operativ versorgt. Das verbrannte Areal wird entfernt und die Körperoberfläche gedeckt. In den meisten

Fällen werden dazu Spalthauttransplantate verwendet, deren Oberfläche durch „Meshen“ vergrößert wird. Vollhauttransplantationen sind bei großflächigen Verbrennungen oft nicht möglich, da nicht genügend unbeschädigte Haut zur Entnahme vorhanden ist. Weitere Möglichkeiten zur Behandlung sind Keratinozyten und verschiedene Arten des Hautersatzes. (12)

1.3.2 Weichteilverletzungen

Unter Weichteilverletzungen versteht man die gesamte Bandbreite zwischen scharfen Abtrennungen bzw. Schnittwunden, den sogenannten „cut“ Verletzungen und stumpfer Gewebeertrümmerung, den sogenannten „crush“ Verletzungen (13).

Mechanische Wunden können in offene und geschlossene Wunden unterteilt werden. Zu den offenen Wunden zählen Schnittwunden, Stichwunden, Platzwunden, Risswunden, Schürfwunden, Ablederungen und traumatische Amputationen. Prellungen, Quetschungen und die Distorsion zählen zu den geschlossenen Wunden. (11)

1.3.2.1 Schnittwunde

Diese entsteht durch die senkrechte Einwirkung eines scharfen Gegenstandes und ist durch glatte Wundränder charakterisiert. (11) Alle Hautschichten sind durchtrennt und es kann zu starken Blutungen kommen. (14)

1.3.2.2 Stichwunde

Stichwunden sind durch eine kleine Eintrittspforte mit glatten Wundrändern charakterisiert. Durch Keimverschleppung in tieferes Gewebe kann es dabei zu Infektionen kommen. Eine Sonderform ist die Pfählungsverletzung. (11) Der Schaden in der Tiefe der Wunde wird aufgrund der kleinen Eintrittspforte zunächst häufig unterschätzt. (14)

1.3.2.3 Platzwunde

Durch Einwirkung kräftiger, stumpfer Scherkräfte auf Hautteile über einem festen Widerlager kommt es zum Platzen des Gewebes im Zentrum der

Gewalteinwirkung. Die Wundränder sind unregelmäßig, klaffend, schlecht durchblutet und häufig gequetscht. (11) Durch die Krafteinwirkung können tiefer gelegene Nerven und Gefäße indirekt geschädigt werden. (14)

1.3.2.4 Risswunde

Risswunden entstehen durch ungerichtete Gewalteinwirkung unterschiedlich scharfer Gegenstände. (14) Wie bei der Platzwunde kommt es auch hier zu zerfetzten, unregelmäßigen und gequetschten Wundrändern. (11)

1.3.2.5 Schürfwunde (Exkoration)

Durch tangentielle Einwirkung von Scherkräften kommt es zu Verletzungen der Epidermis. Dermis und Subkutis sind nicht betroffen. (11)

1.3.2.6 Ablederung (Decollement)

Diese entsteht durch die starke, tangentielle Einwirkung von Scherkräften auf Epidermis, Dermis und eventuell Subkutis. Es kommt zu einer flächenhaften Ablösung der Epidermis, Dermis und Subkutis inklusive der versorgenden Blutgefäße. Hier besteht die große Gefahr einer Nekrose. Eine Sonderform ist die Aushülsungsverletzung der Hände, Finger oder Füße, das sogenannte Deglovement. (11)

1.3.2.7 Prellung (Kontusion)

Prellungen entstehen durch die senkrechte Einwirkung stumpfer Gewalt. Hämatome, Ödeme der Weichteile und schmerzhaftes Bewegungseinschränkungen sind charakteristisch. (11)

1.3.2.8 Quetschung (Kompression)

Diese entstehen durch tangentielle, bilaterale Einwirkung stumpfer Gewalt oder durch stumpfe Scherkräfte bei festem Widerlager. An Zerreißen in der Tiefe des Gewebes mit nachfolgender Nekrose sollte gedacht werden. (11)

1.3.2.9 Distorsion

Darunter versteht man eine geschlossene Gelenksverletzung, die durch Drehung entsteht. Es kann zu Überdehnungen oder Zerreißen des Kapsel-Bandapparates oder zu Knorpelschäden kommen. (11)

Je nach Tiefe und Lokalisation der Verletzungen kann es in weiterer Folge zu Beeinträchtigungen der Gefäße, Nerven und Sehnen kommen.

1.3.3 Amputationsverletzungen

Amputationsverletzungen distal des Radiokarpalgelenks, sogenannte Mikroamputationsverletzungen, sind die häufigsten Amputationsverletzungen. Sie werden nach Ausmaß, Lokalisation, Art und Anzahl der betroffenen Finger und Amputationsmechanismus wie folgt klassifiziert:

Das Ausmaß der Schädigung betreffend, wird zwischen einer totalen bzw. kompletten Amputation, einer subtotalen Amputation und einer komplexen Knochen-Weichteil-Schädigung unterschieden.

Bezüglich der Lokalisation können die Verletzungen in verschiedene Höhen, zwischen I und VI, eingeteilt werden.

Auf die Art und Anzahl der betroffenen Finger bezogen, spricht man bei nur einem verletzten Finger von einer monodigitalen Amputationsverletzung. Sind mehrere Finger betroffen spricht man von einer polydigitalen Amputationsverletzung. Die polydigitalen Verletzungen werden, je nachdem ob der Daumen ebenfalls beteiligt ist, in weitere zwei Gruppen unterteilt.

Folgende Kategorien werden je nach Amputationsmechanismus unterschieden:

- Glattrandige Schnittverletzungen
- Amputationsverletzungen mit lokalisierter Quetschung
- Amputationsverletzung mit diffuser Quetschung
- Mehretagenverletzung
- Ausriss-, Skelettierungs- oder Degloving-Verletzung (15).

Als Folge einer Explosion finden sich alle diese Verletzungsarten in unterschiedlichem Ausmaß alleine oder in Kombination. (5)(16)

1.4 Therapiemöglichkeiten

Wie bereits erwähnt, reicht die Bandbreite der Explosionsverletzungen der Hand von Verbrennungen, über Weichteilverletzungen mit Beeinträchtigung von Sehnen, Gefäßen und Nerven bis hin zu Amputationsverletzungen.

Jede offene Handverletzung solle so schnell wie möglich untersucht und adäquat versorgt werden. (11) Die klinische Untersuchung umfasst Anamnese, Inspektion und Palpation, aktive und passive Funktionsprüfung, Fotodokumentation, Röntgenaufnahmen und gegebenenfalls eine Doppler-Untersuchung. Das vorrangige Ziel ist der Funktionserhalt der Gliedmaße, wobei jedoch die Perfusion primär über den Erhalt der Extremität entscheidet. Liegen andere lebensbedrohliche Verletzungen vor, hat die Stabilisierung des Patienten Vorrang. Es gilt: „life before limb“. (8)

Das operative Vorgehen beginnt mit einer gründlichen Wundinspektion, gefolgt von Reinigung, Desinfektion und Debridement. Im Anschluss daran, werden die knöchernen Strukturen stabilisiert, dabei ist besonders auf die achsengerechte Stellung und die Korrekte Rotation der Finger zu achten. In weiterer Folge werden die Sehnenverletzungen versorgt, wobei auch hier die Stabilität der Nähte für die spätere Funktion entscheidend ist. Die mikrochirurgische Wiederherstellung der arteriellen Strombahn stellt den nächsten Schritt dar. Liegt proximal kein ausreichender Blutfluss vor, muss weiter nach proximal präpariert und ein Veneninterponat eingesetzt werden. Anschließend erfolgt die Nervenrekonstruktion. Nach der Anastomosierung der Venen, stellt der Wundverschluss den letzten Schritt des operativen Vorgehens dar. Da dieser möglichst spannungsarm erfolgen sollte, muss hier oft auf Spalthaut, temporäre Hautersatzmaterialien oder Lappenplastiken zurückgegriffen werden. (17)

1.4.1 Die rekonstruktive Leiter

In der rekonstruktiven Chirurgie hat sich das Konzept der „rekonstruktiven Leiter“ etabliert. Je schwerer und komplexer eine Wunde, desto höher muss der Chirurg auf der imaginären Leiter hinaufklettern. (18) Das Ziel dieser Leiter ist es, eine Systematik für den Wundverschluss zu erstellen. (19) Beginnend mit der sekundären Wundheilung als 1. Stufe der Leiter, gefolgt vom primären Wundverschluss auf Stufe 2. Sind diese Möglichkeiten ausgeschöpft folgt auf der 3. Stufe die Hauttransplantation. Auf Stufe 4 befindet sich die lokale Lappenplastik, gefolgt von der Gewebeexpansion auf der 5. Stufe. Gelingt auch mit diesen Maßnahmen die Rekonstruktion nicht folgt auf der nächsten Stufe der Leiter die gestielte Lappenplastik. Das Ende der konventionellen Leiter bildet die 7. Stufe mit der mikrochirurgischen Lappentransplantation. (20)

Aufgrund des medizintechnischen Fortschrittes der letzten Jahre wurde das Konzept der „rekonstruktiven Leiter“ weiterentwickelt. Es entstand die Idee des „rekonstruktiven Fahrstuhls“, welcher das direkte Ansteuern einzelner, höherer Stockwerke beinhaltet ohne die vorherigen Therapieoptionen zu durchlaufen. (19) Im klinischen Alltag ist es oft nötig, verschiedene rekonstruktive Verfahren zu kombinieren. Die Konzepte der „rekonstruktiven Leiter“ und des „rekonstruktiven Fahrstuhls“ beinhalten diese Möglichkeit jedoch nicht, was zur Idee der ineinandergreifenden Zahnräder und somit zur Entwicklung des Konzepts des „rekonstruktiven Uhrwerks“ geführt hat. (21) Dieses Uhrwerk beinhaltet neben den konventionellen Verfahren der Hauttransplantation oder Lappenplastik auch sich neu entwickelnde Verfahren wie die Robotik, die „composite tissue allotransplantation“ oder das sogenannte Tissue Engineering. (19)

1.4.1.1 Primärer Wundverschluss

Für den primären Wundverschluss wurden im Laufe der Zeit viele verschiedene Methoden, Techniken und Materialien wie Fäden, Klammern oder Gewebeklebstoffe entwickelt. Unabhängig davon, welche Methode zur Verwendung kommt, muss auf eine präzise und spannungsfreie Adaptation der Wundränder geachtet werden. (20) Um die Spannung zu minimieren und zur Totraumverkleinerung wird oft auf den schichtweisen Wundverschluss in Form von Subkutannähten zurückgegriffen. (20,22)

1.4.1.2 Hauttransplantation

Eine Hauttransplantation ist dann notwendig, wenn kutane Defekte nicht oder nur unzureichend von selbst ausheilen. Voraussetzung für diese Art des Wundverschlusses, ist eine ausreichende Vaskularisation und Keimfreiheit des Empfängerbetts. Fettgewebe, freiliegende Knochen, Knorpel und Sehnen stellen kein stabiles Transplantatlager dar. (23)

Besteht das Transplantat aus Epidermis und der gesamten Dermis handelt es sich um ein Vollhauttransplantat. Vollhauttransplantate werden an mechanisch beanspruchten und sichtbaren Körperstellen, wie den Händen und dem Gesicht, verwendet, da sie nur einer geringen Schrumpfung unterliegen und eine hohe Farbübereinstimmung mit der Umgebung aufweisen. Der Nachteil besteht in der schlechteren Einheilung im Gegensatz zu Spalthauttransplantaten.

Hauttransplantate, die aus Epidermis und einem Teil der Dermis bestehen werden als Spalthauttransplantate bezeichnet. Besonders bei großflächigen Defekten hat sich diese Form der Transplantate bewährt. Wird die Spalthaut mit einem Meshgraft-Gerät weiterverarbeitet, kann die Fläche des Transplantats je nach Schnittmuster auf das 1,5 – 9-fache vergrößert werden. Nach der Abheilung bleibt jedoch ein mehr oder weniger sichtbares Maschenmuster zurück. (11)

1.4.1.3 Lappenplastiken

Können Defekte aufgrund ihres Wundgrundes nicht durch Hauttransplantate verschlossen werden, kommen Lappenplastiken zum Einsatz. Diese werden wie folgt klassifiziert:

- Bleibt die Gefäßverbindung zum Körper während des Transfers erhalten spricht man von einem konventionellen Lappen, wird sie jedoch während des Transfers getrennt handelt es sich um einen freien Lappen.
- Je nach Lokalisation bzw. Entfernung zum Defekt kann man zwischen lokalen bzw. regionalen Lappen und Fernlappen unterscheiden.
- Nach der Gewebezusammensetzung kann man Hautlappen, fasziokutane Lappen, myokutane bzw. myofasziokutane Lappen, osteokutane Lappen und osteomyokutane Lappen unterscheiden.

- Wird der Lappen durch Rotation in die richtige Endposition gebracht, spricht man von einem Rotationslappen. Eine weitere Art der Lappenverlagerung ist die Schwenkung.
 - Die Gefäßversorgung ist die Grundlage für die Wahl des Lappentyps. Hier muss zwischen axial gestielten Lappen (axial pattern flaps) und zufallsversorgten Lappen (random pattern flaps) unterschieden werden.
- (11)

Lokale und regionale Lappenplastiken

Verschiebe- und Rotationslappen werden zum Verschluss kleinerer Defekte bei gut verschieblicher Haut, wie man sie insbesondere am Handrücken findet, verwendet. Ein Beispiel dafür ist die Z-Plastik, die für die Behandlung von Narbenkontrakturen oder Wunden, die die Beugefalte senkrecht kreuzen, verwendet wird. (11) Die palmare V-Y-Dehnungslappenplastik, welche zur Deckung von Fingerkuppendefekten verwendet wird, ist ein Beispiel für lokale Lappenplastiken an den Fingern. Bei dieser Technik wird ein palmarer V-förmiger Lappen bis zur Beugefurche des DIP-Gelenkes, unter Mitnahme und Schonung der beiden palmaren Gefäß-Nerven-Bündel, mobilisiert und zur Deckung des Defektes verwendet. Der Hebedefekt wird Y-förmig verschlossen. (20)

Gewebeexpansion

Ist in der Nähe eines Defektes nicht ausreichend Gewebe zur Defektdeckung vorhanden stellt die Gewebeexpansion eine gute Möglichkeit zur Problembewältigung dar. (18,20) Um die Haut zu dehnen und somit die Möglichkeit für einen Rotations- oder Verschiebelappen zu schaffen, wird der Expander unter die Haut eingesetzt. Wird ein fasziokutaner Lappen benötigt, wird der Expander unter die tiefe Faszie oder für einen muskulokutanen Lappen unter den Muskel eingebracht. In den Expander wird dann über mehrere Wochen hinweg, ein bis zweimal wöchentlich ein gewisses Volumen eingespritzt bis die gewünschte oder maximale Ausdehnung erreicht wird. Danach wird der Expander entfernt und die Defektdeckung durchgeführt (20) Die Möglichkeit der Defektdeckung mit Gewebe ähnlicher oder gleicher Farbe und Beschaffenheit stellt einen positiven Aspekt dieser Methode dar. (22)

Gestielte Lappenplastiken

Der Cross-finger Lappen und der Reversed-cross-finger-Lappen dienen zur Deckung von palmaren sowie dorsalen Defekten der Finger. Der Lappen wird auf der Streckseite des Nachbarfingers gehoben, und auf den Defekt eingeschwenkt. Nach einer postoperativen Ruhigstellung der beiden benachbarten Finger für 12-14 Tage erfolgt die Stieldurchtrennung in einer 2. Operation. Der gestielte Leistenlappen, der A. interossea-posterior-Lappen sowie der distal gestielte Radialislappen sind Beispiele für die Defektdeckung mittels gestieltem Lappen am Handrücken. (20)

Die Muffplastik, bei der die verletzte Struktur für 2-3 Wochen zum Beispiel in die Bauchdecke eingenäht wird, eignet sich zur Deckung von Skelettierungsverletzungen der Hand- und Fingerstreckseiten. (11)

Mikrochirurgische Lappenplastiken

Der freie mikrochirurgische Gewebetransfer stellt die letzte Stufe der rekonstruktiven Leiter dar. (18) Der freie Lappen wird mitsamt seinem vaskulären Stiel an einer passenden Körperstelle entnommen und im Anschluss mittels mikrochirurgischen Anastomosen an die Empfängerstelle verpflanzt. Diese Technik kommt bei großen Defekten mit oder ohne freiliegenden Knochen, Sehnen oder Nerven zum Einsatz. (22) Je nach der Beschaffenheit des Wundgrundes können freie Lappen aus unterschiedlichen Geweben, wie Haut, Muskeln, Faszien, Nerven und Knochen zusammengesetzt sein. (18)

Die freie mikrochirurgische Zehenpulpatransplantation und dessen Modifikation der „wrap around flap“ sind Beispiele für mikrochirurgischen Lappenplastiken zur Rekonstruktion nach Daumenamputationen. Ein Lappen bestehend aus Haut, Pulpa und Nagel wird von einer Zehe entnommen und um einen Knochenspan aus dem Beckenkamm gewickelt, um ein möglichst gutes funktionelles Ergebnis zu erzielen. Ein Nachteil dieser Technik ist der große intra- und postoperative Aufwand mit einer mehrstündigen Operation, postoperativen stündlichen Lappenkontrollen sowie langen Rehabilitationsmaßnahmen. (20)

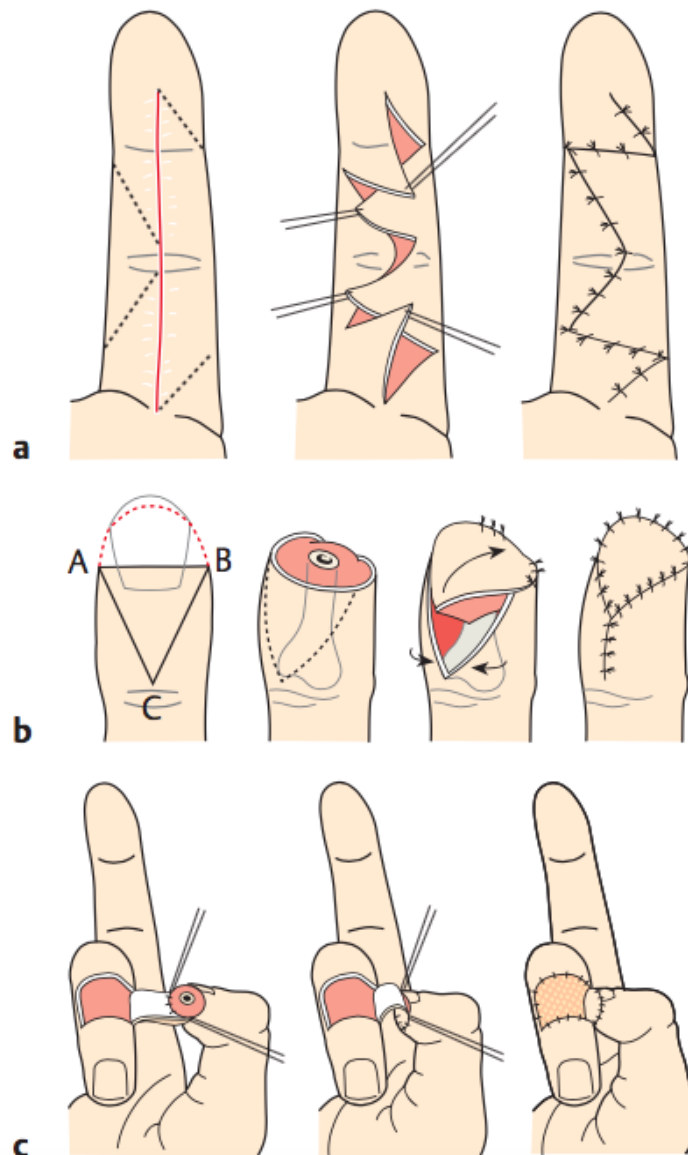


Abbildung 4: Lappenplastiken an den Fingern (11)

a Z-Plastik, **b** V-Y-Plastik, **c** Cross-Finger-Plastik



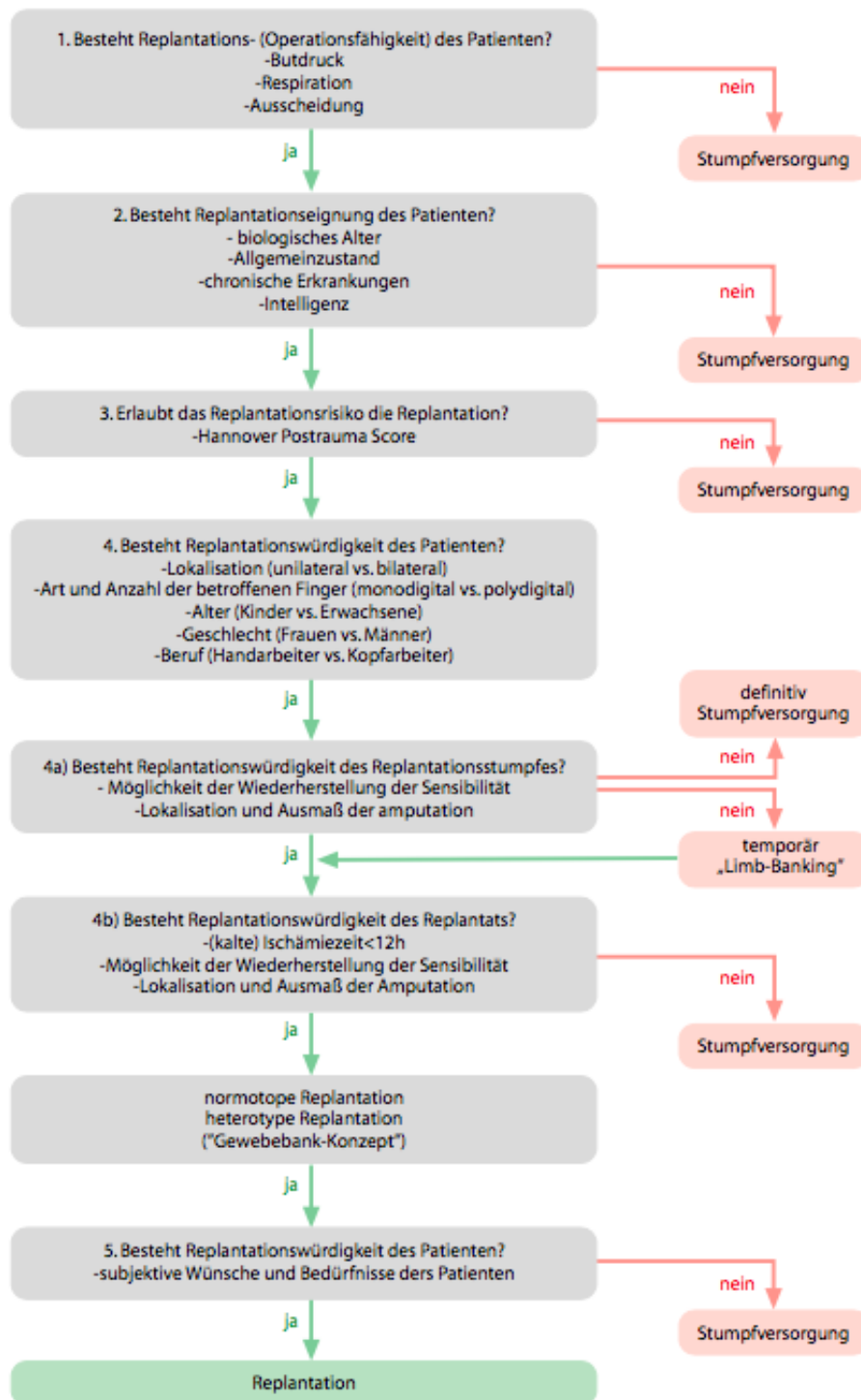
Abbildung 5: primäre Deckung durch einen gestielten Leistenlappen (5)

1.4.2 Replantation

Unter der Replantation versteht man die Wiedervereinigung eines abgetrennten Körperteils mit dem Körper durch Osteosynthese und Naht der Gefäße, Nerven, Muskeln und Sehnen. (11)

Die Erstversorgung des Amputats sowie des Stumpfes am Unfallort sind dabei von großer Bedeutung für den weiteren Verlauf der Therapie. Eine Kühlung bei etwa 4°C erhöht die Chance der Replantation, wenn die warme Ischämiezeit überschritten wurde, welche bei amputierten Fingern bei circa 8-12 Stunden liegt. Das Amputat sollte nach dem Prinzip der „trockenen Kühlung“ gelagert werden. Der abgetrennte Körperteil wird dabei in trockene Kompressen eingewickelt und in einem ersten Plastikbeutel wasserdicht verschlossen. Dieser wird in einen weiteren Plastikbeutel, welcher mit Eis und Wasser gefüllt ist, gegeben. Die Verwendung von Eis ohne Wasser ist kontraproduktiv, da es zu einem Frostschaden am Amputat kommen würde. (23)(24) Der Amputationsstumpf wird mit einem sterilen Druckverband versorgt. Die Anlage einer Oberarmblutsperre ist obsolet. In weiterer Folge müssen PatientIn und Amputat so schnell wie möglich in eine Klinik mit Replantationsdienst bzw. in ein Replantationszentrum transferiert werden. (23)(11)

Da das Ziel einer Replantation neben der Vitalität des Replantats ebenso ein gutes funktionelles und ästhetisches Ergebnis, Schmerzfreiheit im Replantationsgebiet und die möglichst rasche soziale und berufliche Wiedereingliederung beinhaltet, sollte die Entscheidung zur Replantation nach objektiven Kriterien getroffen werden. (23) In der nachfolgenden Grafik ist dieser systematische Entscheidungsweg dargestellt.



**Abbildung 6: Entscheidungsbaum
"Amputationsverletzungen im Handbereich" (15)**

Der Verlust des Daumens geht mit großen funktionellen Einschränkungen einher und stellt daher eine absolute Indikation für einen Replantationsversuch dar. (23)(25)(26)

1.4.3 Daumenrekonstruktion

Für den Fall einer nicht möglichen Replantation wurden verschiedene Verfahren zur Daumenrekonstruktion entwickelt. Ein ideal rekonstruierter Daumen hat eine adäquate Länge, eine Fingerspitze mit vorhandener Sensibilität, genügend Stabilität und die richtige Position, um die anderen Finger zu erreichen. Nur selten können alle diese Ziele erreicht werden. Die richtige Position des Daumens hat sich jedoch als sehr wichtig herausgestellt. Außerdem sollte versucht werden ein für den Patienten kosmetisch zufriedenstellendes Resultat zu erhalten und den Defekt an der Entnahmestelle so gering wie möglich zu halten. (25,27)

1.4.3.1 Rekonstruktionsmöglichkeiten bei Amputation mit erhaltenem CMC-Gelenk

Ein Zehentransfer stellt für Daumenamputationen distal des CMC-Gelenks eine gute Therapieoption dar. Die besten funktionellen und kosmetischen Ergebnisse können bei intakter intrinsischer Daumenmuskulatur erzielt werden. (27) Bei einem Großzehenlappen handelt es sich um einen onycho-osteokutanen Lappen, dessen Blutversorgung auf der ersten dorsalen oder plantaren Metatarsalarterie beruht. Die Innervation des Lappens wird durch die plantaren Digitalnerven übernommen. (25) Üblicherweise wird dieser Eingriff erst als sekundäres Prozedere durchgeführt. Bei der primären Versorgung des Daumens wird häufig ein gestielter Leistenlappen verwendet, um die vaskulären Strukturen des Daumens für den späteren Zehentransfer zu schonen. (25,27)

Neben der Großzehe kann die zweite Zehe als Transplantat herangezogen werden. Da diese nicht in den Gangprozess involviert ist, ergibt sich daraus ein Vorteil für Patienten, die beispielsweise aufgrund von sportlichen Aktivitäten nicht auf ihre Großzehe verzichten können. Bei dieser Methode muss man jedoch mit einer geringeren Stabilität und einem schlechteren kosmetischen Ergebnis rechnen. Ist es aufgrund der anatomischen Gegebenheiten oder aufgrund von religiösen oder kulturellen Gründen nicht möglich die Großzehe bzw. zweite Zehe als Transplantat zu verwenden, kann auf andere Rekonstruktionsmöglichkeiten zurückgegriffen werden. Zu diesen Verfahren zählen die Pollisation, die osteoplastische Rekonstruktion mittels Knochentransplantat sowie die Verlängerung des Metakarpalknochens. (19,21,22)

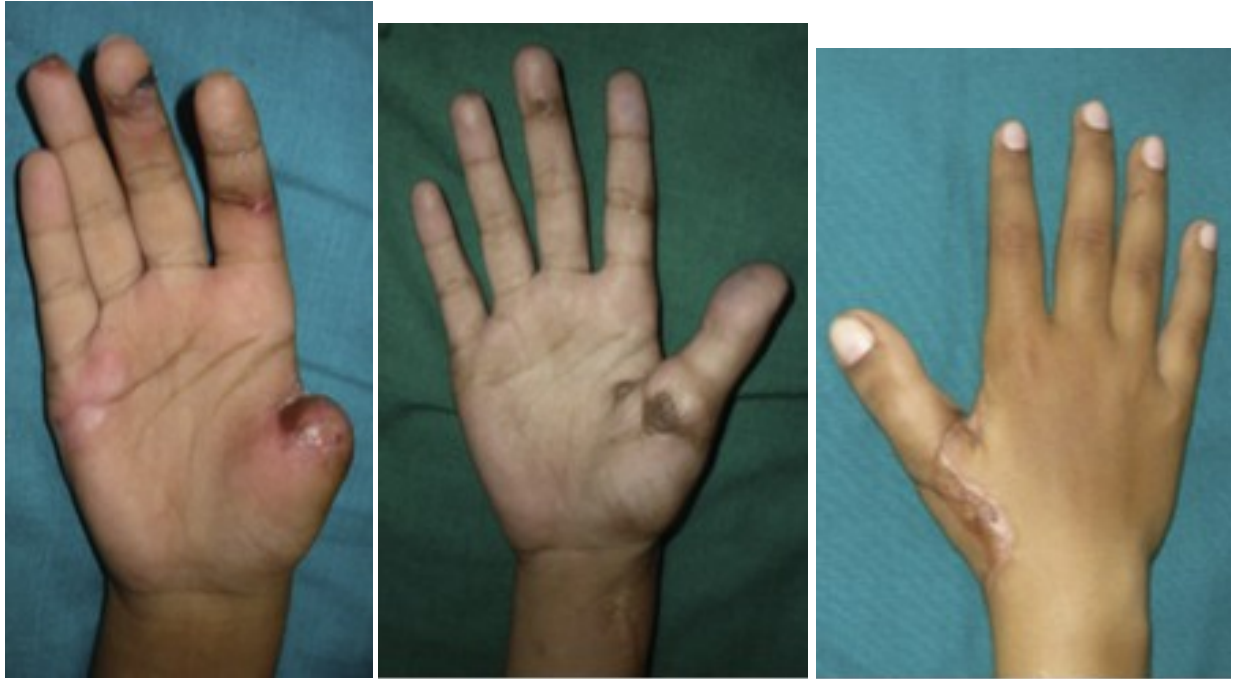


Abbildung 7: Großzehentransplantation prä- und postoperativ (27)

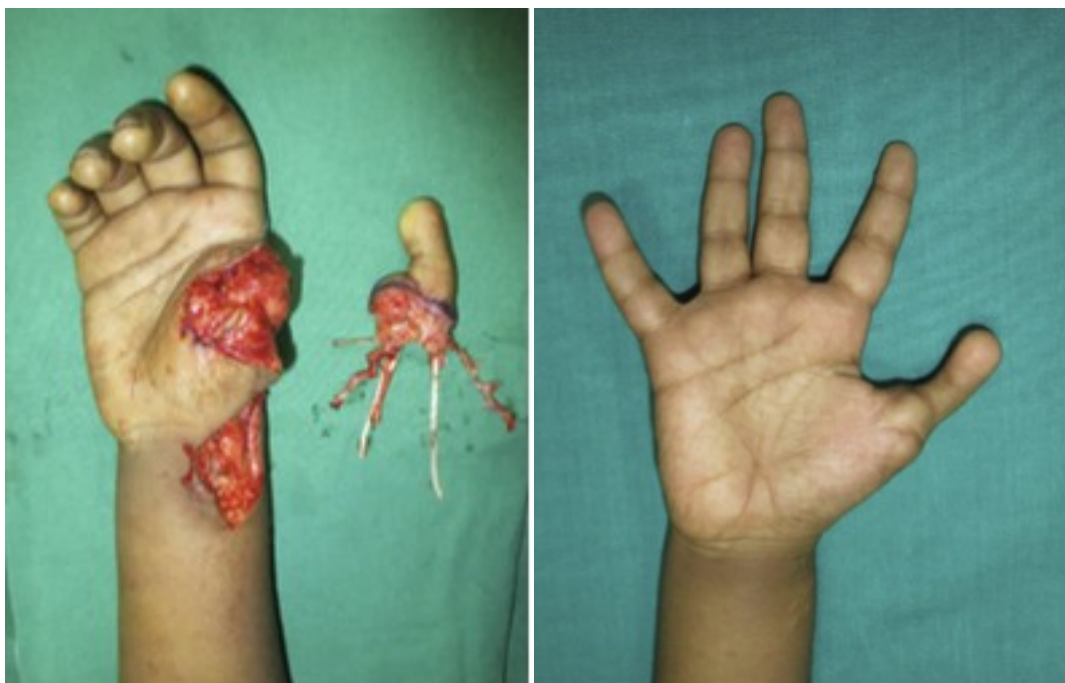


Abbildung 8: Rekonstruktion durch die 2. Zehe intra- und postoperativ (27)

1.4.3.2 Rekonstruktionsmöglichkeiten bei Amputation mit zerstörtem CMC-Gelenk

Aufgrund der Zerstörung des CMC-Gelenks sind die rekonstruktiven Maßnahmen hier besonders beschränkt. In diesem Fall stellt die Pollisation die beste Möglichkeit dar. Bei diesem Verfahren wird der Zeigefinger als Ersatz für den Daumen verwendet. (25,27,28) Das MCP-Gelenk des Zeigefingers wird dabei zum CMC-Gelenk des neuen Daumens. (27)

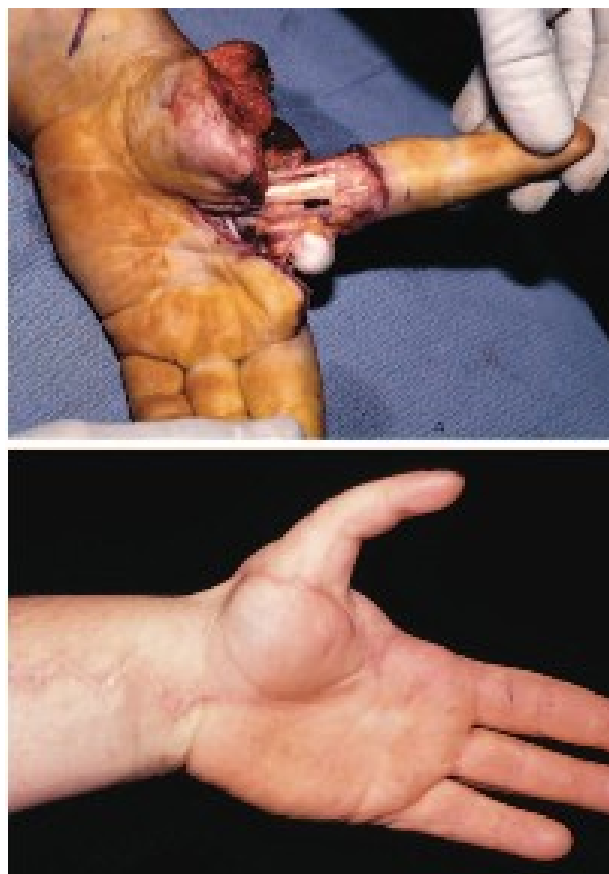


Abbildung 9: Pollisation des Zeigefingers intra- und postoperativ (25)

2 Material und Methoden

Bei der Studie handelt es sich um eine retrospektive Datenanalyse. Es wurden die Daten von allen PatientInnen, die im Zeitraum zwischen dem 01.01.2006 und dem 01.01.2017 aufgrund einer Verletzung durch Feuerwerkskörper an der Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie sowie an der Abteilung für Allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie am LKH Graz in Behandlung waren, ausgewertet

Es erfolgte eine Analyse der klinischen Daten wobei die Parameter Alter, Geschlecht, Unfalldatum, Anzahl der Verletzungen, Betroffene Körperregion, Art der Verletzung, Behandlungsmethode, stationäre Behandlungsdauer und Folgeschäden berücksichtigt und ausgewertet wurden.

2.1 Zielsetzung

Das Ziel der Studie ist die retrospektive Analyse der Häufigkeitsverteilungen, von durch Feuerwerkskörper verursachten Verletzungen. Es ist zu erwarten, dass es besonders in der Zeit rund um den Jahreswechsel vermehrt zu Unfällen mit pyrotechnischen Gegenständen kommt. In weiterer Folge soll ermittelt werden, ob es einen signifikanten Unterschied bezogen auf das Geschlecht gibt. Die Relevanz dieser Studie ergibt sich daraus, dass für das LKH Graz eine vergleichbare Studie noch nicht vorliegt.

2.1.1 Zielgrößen

Als Hauptzielgröße wurde die Allgemeine Häufigkeitsverteilung der Verletzungen durch Feuerwerkskörper über die Jahre 2006 bis 2017 definiert.

Als Nebenzielgrößen wurden die Häufigkeitsverteilung bezogen auf das Alter, das Geschlecht, die betroffene Körperstelle sowie die Anzahl der Verletzungen definiert.

2.2 PatientInnenkollektiv

Insgesamt wurden 43 Datensätze erhoben. Ein Teil davon schied aufgrund verschiedener Ursachen jedoch aus der Studie aus. 9 PatientInnen wurden von der Studie ausgeschlossen, da es sich bei den Verletzungen um Knalltraumata handelte, welche an der HNO-Universitätsklinik behandelt wurden, ebenso wie eine Patientin welche sich Verbrennungen an beiden Augen zugezogen hatte. Weitere 9 Datensätze wurden von der Studie ausgeschlossen, da es sich um Explosionsverletzungen anderer Ursache, wie zum Beispiel Kesselexplosionen handelte. Bei einem Datensatz kam es zu einer doppelten Erfassung und eine PatientIn wurde aufgrund der Stichwortsuche erfasst, passte mit der Diagnose Morbus Hirschsprung jedoch nicht in unser Studienkollektiv, sodass diese beiden Datensätze ebenfalls ausgeschlossen wurden. Die Daten von 15 PatientInnen, welche an der Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie sowie die Daten von 7 PatientInnen welche an der Abteilung für Allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie am LKH Graz zwischen dem 01.01.2006 und dem 01.01.2017 aufgrund einer Verletzung durch Feuerwerkskörper in Behandlung waren, konnten in die Studie eingeschlossen und ausgewertet werden. Das Patientenkollektiv inkludierte alle Patienten/Innen zwischen 0 und 99 Jahren.

2.3 Datenerhebung und Datenverarbeitung

Die PatientInnen wurden durch eine Suche mit den Stichwörtern „Böller“, „Feuerwerk“, „Knall“, „Kracher“ und „Explosion“ ermittelt. Die Patientendaten wurden unter Verwendung der elektronischen Krankenakten (MEDOCS), Ambulanzkarten, OP-Berichten und Dienstberichten der Abteilungen für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie und der Abteilung für Allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie gesammelt. Aus Datenschutzgründen wurden alle PatientInnen mit einer Nummer codiert und die auszuwertenden Daten mit diesem Code versehen in einer Excel-Datei mit Zugriffsbeschränkung gespeichert. Nur autorisierte Personen hatten Zugriff auf die Originaldaten.

2.4 Statistische Auswertung

Die Auswertung erfolgte mittels deskriptiver Statistik. Für numerische Daten werden – abhängig von der Verteilung – Mittelwert und Standardabweichung oder Mediane und Quartile berechnet. Kategorische Daten werden als absolute und relative Häufigkeiten dargestellt.

Da es sich um eine retrospektive Datenanalyse handelt, haben die eingeschlossenen PatientInnen weder einen direkten Nutzen noch ein Risiko von der Studie.

2.5 Ethikvotum

Die vorliegende Studie wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz genehmigt (EK-Nummer 29-234 ex 16/17)

3 Ergebnisse – Resultate

Die nachfolgende Grafik gibt nochmals einen Überblick über den Ablauf von der Datenerhebung bis hin zum endgültigen PatientInnenkollektiv, welches in die Studie eingeschlossen wurde.

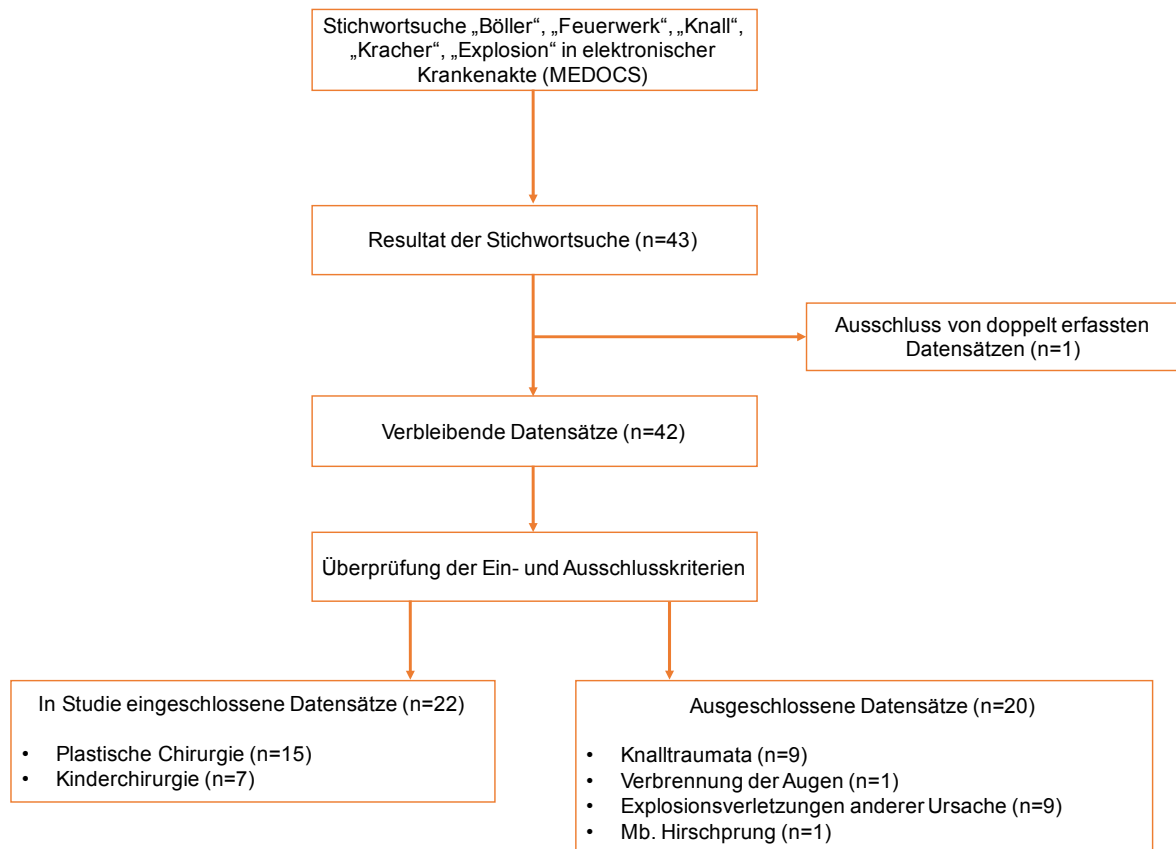


Abbildung 10: Datenerhebung und PatientInnenkollektiv

An der Abteilung für Orthopädie und Traumatologie konnten im Zeitraum 2006 – 2017 keine Daten erhoben werden, mögliche Gründe werden in der Diskussion erörtert.

In Tabelle 1 sind das Unfalldatum, das Alter in Jahren, das Geschlecht sowie die Abteilung, an welcher die PatientInnen behandelt wurden zusammengefasst. 68% der PatientInnen (n=15) wurden an der Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie („Plastische Chirurgie“) behandelt, 32% der PatientInnen (n=7) an der Abteilung für Allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie („Kinderchirurgie“).

PatientIn	Unfalldatum	Alter	Geschlecht	Abteilung
P1	01.01.2006	14	männlich	Kinderchirurgie
P2	31.12.2006	14	männlich	Kinderchirurgie
P3	01.01.2008	12	weiblich	Kinderchirurgie
P4	08.02.2008	8	männlich	Kinderchirurgie
P5	31.12.2008	22	männlich	Plastische Chirurgie
P6	01.01.2013	12	männlich	Kinderchirurgie
P7	01.01.2013	38	männlich	Plastische Chirurgie
P8	04.01.2013	15	männlich	Kinderchirurgie
P9	22.03.2013	18	weiblich	Plastische Chirurgie
P10	08.06.2013	20	männlich	Plastische Chirurgie
P11	16.12.2013	21	männlich	Plastische Chirurgie
P12	01.01.2014	31	männlich	Plastische Chirurgie
P13	01.01.2014	33	männlich	Plastische Chirurgie
P14	01.01.2014	39	männlich	Plastische Chirurgie
P15	23.11.2014	28	männlich	Plastische Chirurgie

P16	31.12.2014	44	männlich	Plastische Chirurgie
P17	01.08.2015	50	männlich	Plastische Chirurgie
P18	01.01.2016	21	männlich	Plastische Chirurgie
P19	01.01.2016	20	männlich	Plastische Chirurgie
P20	01.01.2016	20	männlich	Plastische Chirurgie
P21	26.03.2016	46	männlich	Plastische Chirurgie
P22	31.12.2016	16	männlich	Kinderchirurgie

Tabelle 1: Unfalldatum, demographische Daten und behandelnde Abteilung

3.1 Demographische Daten

Die Altersverteilung zum Zeitpunkt der Verletzung bewegt sich im Rahmen zwischen 8 und 50 Jahren. Der Altersdurchschnitt gesamt liegt bei 24,6 Jahren bei einer allgemeinen Standardabweichung von 11,9 Jahren. Insgesamt waren 63,6% der PatientInnen unter 25 Jahre alt. An der Abteilung für Plastische Chirurgie wurden PatientInnen zwischen 18 und 50 Jahren behandelt, mit einem Altersdurchschnitt von 30,1 Jahren. An der Abteilung für Kinderchirurgie ergab sich ein Altersdurchschnitt von 13,0 Jahren bei einer Range zwischen 8 und 16 Jahren.

Insgesamt wurden 20 Männer (91%) und 2 Frauen (9%) behandelt. An der Abteilung für Plastische Chirurgie waren 14 Männer und eine Frau in Behandlung, während an der Abteilung für Kinderchirurgie eine weibliche Patientin und 6 männliche Patienten behandelt wurden.

	Gesamt	Plastische Chirurgie	Kinderchirurgie
Alter			
Mittelwert	24,6	30,1	13,0
Range	8-50	18-50	8-16
Geschlecht (%)			
Männlich	91	93	86
Weiblich	9	7	14

Tabelle 2: demographische Daten

3.2 Häufigkeitsverteilung 2006 – 2017

Die folgende Grafik zeigt die Häufigkeitsverteilung der behandelten PatientInnen in den Jahren 2006 – 2017.

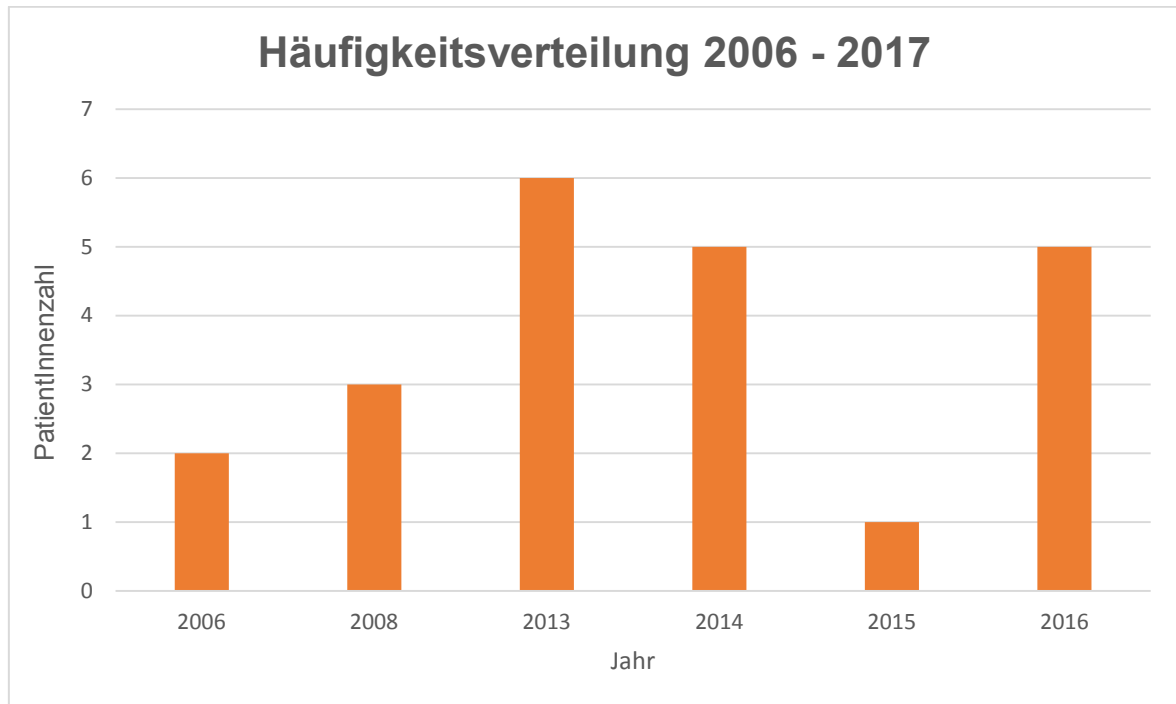


Abbildung 11: Häufigkeitsverteilung 2006 - 2017

Insgesamt wurden 22 PatientInnen aufgrund einer Verletzung durch Feuerwerkskörper stationär behandelt. Die Unfälle ereigneten sich in den Jahren 2006 (n=2), 2008 (n=3), 2013 (n=6), 2014 (n=5), 2015 (n=1) und 2016 (n=5). In 14 dieser Fälle zogen sich die PatientInnen die Verletzungen zu Silvester oder Neujahr zu. Das sind 63,6 Prozent.

3.3 Betroffene Körperstellen

Bezogen auf das Gesamtkollektiv kam es am häufigsten (n=12) zu Verletzungen im Kopf/Hals-Bereich. Jeweils 11 PatientInnen zogen sich Verletzungen an der linken bzw. der rechten Hand zu. Zu Verletzungen im Bereich des Thorax und der Schultern kam es bei 4 PatientInnen. Das Abdomen, der linke bzw. der rechte Arm wurde bei jeweils 2 PatientInnen verletzt. Am seltensten (n=1) kam es zu Verletzungen des linken bzw. rechten Beines. An der Abteilung für Plastische Chirurgie wurden die meisten PatientInnen (n=8) aufgrund Verletzungen des Kopf/Hals-Bereiches sowie der rechten Hand behandelt. An der Abteilung für Kinderchirurgie waren die meisten PatientInnen (n=5) aufgrund einer Verletzung der linken Hand in Behandlung.

Eine Übersicht der Häufigkeitsverteilungen bezogen auf die einzelnen Abteilungen ist in der nachfolgenden Tabelle 3 dargestellt.

	Gesamt	Plastische Chirurgie	Kinderchirurgie
Kopf / Hals	12 (54,5%)	8 (53,3%)	4 (57,1%)
Thorax / Schultern	4 (18,2%)	2 (13,3%)	2 (28,6%)
Abdomen	2 (9,1%)	-	2 (28,6%)
Hand links	11 (50,0%)	6 (40,0%)	5 (71,4%)
Arm links	2 (9,1%)	2 (13,3%)	-
Hand rechts	11 (50,0%)	8 (53,3%)	3 (42,9%)
Arm rechts	2 (9,1%)	-	2 (28,6%)
Bein links	1 (4,5%)	1 (6,7%)	-
Bein rechts	1 (4,5%)	1 (6,7%)	-

Tabelle 3: Häufigkeitsverteilung der betroffenen Körperstellen

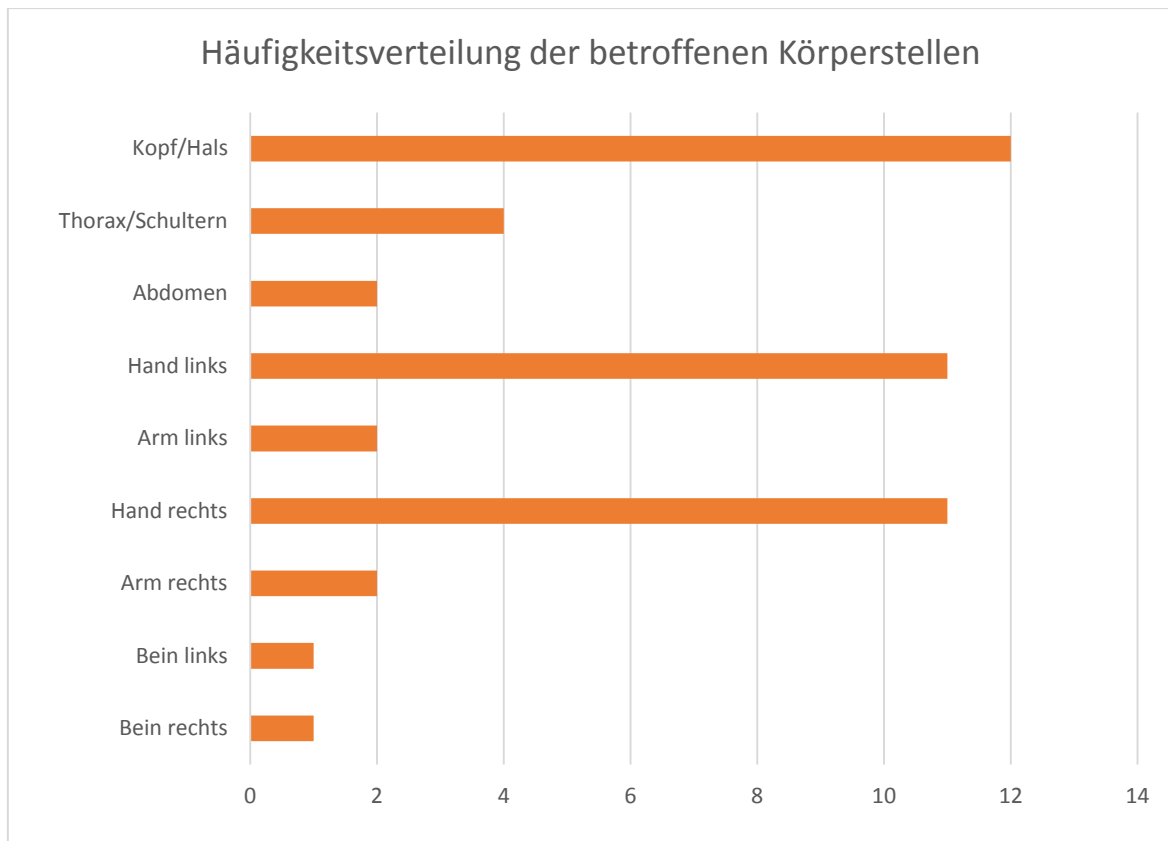


Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung der betroffenen Körperstellen

In der obenstehenden Abbildung 13 ist die Häufigkeitsverteilung der betroffenen Körperstellen bezogen auf das Gesamtkollektiv nochmals grafisch dargestellt. Das vermehrte Auftreten von Verletzungen im Kopf/Hals-Bereich und an den Händen ist deutlich zu erkennen.

Wie in der nachfolgenden Tabelle 4 ersichtlich, kam es bei 13 PatientInnen zu Verletzungen von zwei oder mehreren Körperstellen, das sind 59,1%. In 40,9% der Fälle (n=9) war somit nur eine Körperstelle betroffen. 16 PatientInnen verletzten sich eine Hand, 3 PatientInnen beide Hände. In 10 Fällen kam es dabei zu Verletzungen mit Beteiligung eines Daumens, in einem Fall zu Verletzungen beider Daumen. In 9 Fälle kam es zu einer Kombination von Verletzungen des Kopfes und einer oder beider Hände.

Zur besseren Übersicht wurden die PatientInnen der Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie in der nachfolgenden Tabelle 4 farblich gekennzeichnet.

	Kopf/ Hals	Thorax/ Schultern	Abdomen	Hand links	Arm links	Hand rechts	Arm rechts	Bein links	Bein rechts
P1						x	x		
P2	x	x				x	x		
P3			x	x					
P4	x			x					
P5	x	x		x					
P6	x			x					
P7						x			
P8	x	x	x	x		x			
P9						x			
P10	x	x				x		x	x
P11						x			
P12	x								
P13	x				x				
P14	x				x	x			
P15				x		x			
P16				x					
P17				x					
P18				x					
P19	x			x		x			
P20	x								
P21	x					x			
P22				x					

Tabelle 4: betroffene Körperstellen der einzelnen PatientInnen

3.4 Art der Verletzungen

Die Verletzungsarten werden eingeteilt in Verbrennungen, Schürfwunden bzw. Fremdkörpereinsprengungen, leichte und schwere Weichteilverletzungen, knöcherne Verletzungen sowie komplette Amputationen. Zur Gruppe der leichten Weichteilverletzungen zählen Verletzungen, bei denen keine weiteren Strukturen in Mitleidenschaft gezogen wurden zum Beispiel Risswunden. Als schwere Weichteilverletzung werden jene Verletzungen zusammengefasst, bei denen es zu einer Beteiligung der Sehnen, Nerven, Blutgefäße und/oder des Nagelbetts gekommen war sowie partielle Amputationen. Zu den knöchernen Verletzungen werden neben Frakturen auch Luxationsverletzungen gezählt.

	Gesamt	Plastische Chirurgie	Kinderchirurgie
Verbrennung	12 (54,5%)	7 (46,7%)	5 (71,4%)
Schürfwunde bzw. Fremdkörpereinsprengung	10 (45,5%)	7 (46,7%)	3 (42,9%)
Leichte Weichteilverletzung	6 (27,3%)	4 (26,7%)	2 (28,6%)
Schwere Weichteilverletzung	10 (45,5%)	7 (46,7%)	3 (42,9%)
Knöcherne Verletzung	13 (59,1%)	10 (66,7%)	3 (42,9%)
Komplette Amputation	6 (27,3%)	6 (40,0%)	-

Tabelle 5: Häufigkeitsverteilung der Verletzungsarten

In Tabelle 3 ist die Verteilung der einzelnen Verletzungsarten im Gesamtkollektiv bzw. bezogen auf die beiden behandelnden Abteilungen dargestellt. Auf das Gesamtkollektiv bezogen kam es am häufigsten, nämlich in 13 Fällen (59,1%), zu knöchernen Verletzungen, bei 5 dieser PatientInnen traten sowohl Luxationen als auch Frakturen auf. Während es in 6 Fällen zu einer oder mehreren Frakturen kam, zogen sich nur 2 PatientInnen isolierte Luxationen zu. Am häufigsten traten die Frakturen und Luxationen im Bereich der Finger und Mittelhandknochen auf. In

jeweils einem Fall kam es zu Frakturen des Schädels und des Unterkiefers sowie zu einer Orbitadachfraktur. In 54,5% der Fälle (n=12) kam es zu Verbrennungen, am häufigsten (n=9) mit dem Schweregrad II. Schwere Weichteilverletzungen traten bei 10 PatientInnen auf, in 4 Fällen handelte es sich dabei um partielle Amputationen. Schürfwunden bzw. Fremdkörpereinsprengungen traten ebenfalls in 10 Fällen auf. 6 PatientInnen zogen sich leichte Weichteilverletzungen zu. Zur kompletten traumatischen Amputation kam es bei 6 PatientInnen. Diese Amputationen betrafen jeweils mehrere Finger, wobei der Daumen immer mitbetroffen war. Bei 2 PatientInnen waren alle Finger einer Hand betroffen.

Betrachtet man die einzelnen Abteilungen stellt man fest, dass die schwerwiegenden Verletzungen wie Weichteilverletzungen mit neurovaskulärer Beteiligung, knöcherne Verletzungen und totale Amputationen vermehrt an der Abteilung für Plastische Chirurgie behandelt wurden, was einem volljährigen Patientenkollektiv gleichgestellt werden kann. Bei den minderjährigen PatientInnen kam es zu keiner kompletten Amputation, wohingegen es in dieser PatientInnengruppe gehäuft zu Verbrennungen gekommen war.

Die nachfolgende Tabelle 6 gibt eine Übersicht über die Verletzungsarten bezogen auf die einzelnen PatientInnen, wobei die farbig hinterlegten Fälle für die PatientInnen der Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie stehen. Bei 5 PatientInnen traten die Verletzungsarten isoliert auf, 3 dieser PatientInnen zogen sich eine oder mehrere Verbrennungen zu, bei den beiden anderen PatientInnen kam es zu Schürfwunden. In den restlichen Fällen kam es zu einer Kombination von 2 bis 6 verschiedenen Verletzungsarten.

	Verbrennung	Schürfwunde	Leichte WTV	Schwere WTV	Knöchern Verletzung	Komplette Amputation
P1	x			x	x	
P2	x					
P3	x	x				
P4	x		x			
P5		x	x	x	x	x
P6		x				
P7			x		x	x
P8	x	x	x	x	x	
P9		x		x	x	
P10	x	x	x	x	x	x
P11				x	x	x
P12	x	x				
P13	x				x	
P14	x	x				
P15				x	x	x
P16			x	x	x	
P17	x					
P18	x					
P19	x				x	
P20		x				
P21		x		x	x	x
P22				x	x	

Tabelle 6: Verletzungsarten der einzelnen PatientInnen

3.5 Behandlungsmethode

Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Behandlungsmethoden. 10 PatientInnen konnten konservativ behandelt werden, während bei 12 PatientInnen eine operative Versorgung der Verletzungen nötig war. Das entspricht einer prozentuellen Verteilung von 45,5 % zu 54,5%. Bei 5 PatientInnen erfolgte die operative Versorgung einzeitig, bei den 7 verbleibenden PatientInnen waren mehrere operative Eingriffe nötig.

	Gesamt	Plastische Chirurgie	Kinderchirurgie
Konservativ	10 (45,5%)	7 (46,7%)	3 (42,9%)
Operativ	12 (54,5%)	8 (53,3%)	4 (57,1%)

Tabelle 7: Behandlungsmethode

Von den Brandverletzten wurde eine PatientIn operativ, im Sinne einer Nekrektomie, versorgt, bei den verbleibenden PatientInnen konnten die Verbrennungen konservativ behandelt werden. Die Schürfwunden und Fremdkörpereinsprengungen wurden bei allen PatientInnen konservativ behandelt. Bei der operativen Versorgung kamen verschiedene Operationstechniken zum Einsatz. Bei allen PatientInnen (n=12) wurde ein Debridement durchgeführt. Bei 9 PatientInnen wurden ein oder mehrere Osteosynthesen mittels verschiedener Materialien und Techniken wie zum Beispiel Kirschnerdrähten oder Zugschrauben durchgeführt, in einem Fall war dies aufgrund der Splitterbildung nicht möglich. In 6 Fällen wurde eine Kompartmentspaltung durchgeführt. Sehnennähte wurden in 2 Fällen dokumentiert, eine Nervenversorgung mittels Interponat in einem Fall. Bei 3 PatientInnen fand eine Gefäßversorgung statt, in 2 Fällen mittels Interponat. In zwei Fällen konnten die Wunden danach sofort primär verschlossen werden. Ein temporärer Wundverschluss mittels Epigard wurde in 4 Fällen durchgeführt, die sekundäre Wundversorgung erfolgte durch Einzelknopfnähte, einer Vollhauttransplantation, einer Spalthauttransplantation sowie einem gestielten A.

interossea-posterior-Lappen mit Spalthautversorgung der Entnahmestelle. Bei den restlichen 6 PatientInnen wurden mehrere Arten des Wundverschlusses wie Einzelknopfnähte und Lappenplastiken kombiniert, am häufigsten kamen lokale Lappenplastiken zum Einsatz, in zwei Fällen erfolgte der primäre Wundverschluss mittels gestieltem Lappen.

Wie in Tabelle 6 dargestellt kam es bei 6 PatientInnen zu kompletten Amputationen. In zwei dieser Fälle waren die Verletzungen an der Hand so ausgeprägt, dass eine Unterarmamputation bzw. Amputation im Mittelhandbereich mit anschließender Stumpfbildung durchgeführt werden musste. Bei den restlichen 4 PatientInnen mit traumatischen Amputationen erfolgten die Stumpfversorgungen mittels Lappenplastiken. Der Versuch einer sekundären Rekonstruktion des Daumens mittels Transfer der zweiten Zehe war, aufgrund der Durchblutungssituation, nicht erfolgreich. Von den 4 PatientInnen, welche eine partielle Amputation erlitten hatten, konnten 2 mit einer Replantation versorgt werden. Im dritten und vierten Fall erfolgte eine Amputation mit anschließender Stumpfbildung.

Wie bereits erwähnt waren bei 7 PatientInnen Folgeoperationen notwendig, in 4 Fällen waren 2 Folgeoperationen, bei 3 PatientInnen 3 Folgeeingriffe nötig. Die häufigsten Gründe dafür waren sekundäre Wundverschlüsse, Osteosynthesematerialentfernungen sowie Second-Look Eingriffe mit Verbandswechsel. Bei einer PatientIn wurde eine Neuromentfernung sowie eine Endgliedamputation aufgrund von Schmerzen durchgeführt. Der oben bereits erwähnte Versuch einer Zehentransplantation zählt auch zu diesen Folgeeingriffen.

3.6 Stationärer Aufenthalt

5 PatientInnen konnten das Krankenhaus am selben Tag, nach ambulanter Behandlung, wieder verlassen. In 17 Fällen war ein stationärer Aufenthalt notwendig. Im Durchschnitt betrug die Dauer des stationären Aufenthaltes im Gesamtkollektiv 9,2 Tage. Auf der Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie verbrachten die PatientInnen im Durchschnitt 9,1 Tage, während Sie an der Abteilung für Allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie 9,4 Tage in stationärer Behandlung waren. Der maximale stationäre Aufenthalt betrug 22 Tage.

	Gesamt	Plastische Chirurgie	Kinderchirurgie
Stat. Aufenthalt			
Mittelwert	9,2	9,1	9,4
Standardabweichung	6,2	6,3	6,0
Minimum	2	2	3
Maximum	22	22	18

Tabelle 8: Dauer des stationären Aufenthaltes

3.7 Folgeschäden

Da es sich um eine retrospektive Studie handelt, konnten die Folgeschäden nur durch die Einträge in den PatientInnenakten erhoben werden. Bei 10 PatientInnen kam es zu keinen Folgeschäden, in 3 Fällen wurde diesbezüglich nichts dokumentiert. 8 PatientInnen haben durch ihre Verletzungen Folgeschäden davongetragen. In einem Fall ist die Evaluierung etwaiger Folgeschäden noch nicht erfolgt.

	Gesamt	Plastische Chirurgie	Kinderchirurgie
keine Folgeschäden	10	6	4
Folgeschäden	8	8	-
Nicht erfasst	3	1	2
Beurteilung noch nicht möglich	1	-	1

Tabelle 9: Folgeschäden

In der obenstehenden Tabelle 9 ist ersichtlich, dass alle PatientInnen bei denen es zu Folgeschäden gekommen ist an der Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie in Behandlung waren. Bei diesen Folgeschäden handelt es sich um ästhetische Folgen in Form eines Schmutztattoos, Schmerzen, funktionelle Einschränkungen, herabgesetzte Sensibilität oder psychische Folgen in Form von Albträumen. Diese Phänomene traten sowohl isoliert (n=6), als auch in Kombination (n=2) auf. Die nachfolgende Tabelle 10 gibt eine genaue Übersicht über die Kombination der Folgeschäden der einzelnen PatientInnen.

	Schmutztattoo	Schmerzen	Funktionelle Einschränkungen	Herabgesetzte Sensibilität	Albträume
P5			x		
P7			x		
P9					x
P10		x			
P11		x	x		
P12	x				
P15			x	x	
P16		x			

Tabelle 10: Folgeschäden der einzelnen PatientInnen

4 Diskussion

Durch die retrospektive Datenanalyse konnten 15 PatientInnen welche an der Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie und 7 PatientInnen welche an der Abteilung für Allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie am LKH Graz zwischen dem 01.01.2006 und dem 01.01.2017 in Behandlung waren ermittelt werden. An der Abteilung für Orthopädie und Traumatologie konnten keine PatientInnen ermittelt werden, da volljährige PatientInnen mit Explosionsverletzungen primär an der Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie behandelt wurden.

Die Zeitspanne zwischen 2006 und 2017 wurde gewählt, da das von uns zur Datensuche verwendete elektronische Dokumentationssystem „MEDOCS“ erst ab dem Jahr 2005 sukzessive aufgebaut und verwendet wurde. Da es sich um eine Single-Center-Studie am LKH Graz, welches vor allem als Zentrum für die Behandlung von Schwerverletzten zuständig ist, handelt, wurden die in den peripheren Kliniken behandelten PatientInnen nicht erfasst. Des Weiteren erschwerte die Tatsache, dass es für Böllerverletzungen keinen spezifischen ICD-10 Code gibt, die Suche nach passenden Datensätzen, was das Fehlen von Daten in den Jahren 2007 und 2009 – 2012 erklären könnte. Der Maximalwert im Jahr 2013 bzw. der Minimalwert im Jahr 2015 können nicht auf signifikante Ereignisse zurückgeführt werden. Wie erwartet zogen sich die meisten PatientInnen, nämlich 63,6%, die Verletzungen zu Silvester oder Neujahr zu. Dieses erhöhte Auftreten von Verletzungen durch Feuerwerkskörper rund um religiöse oder kulturelle Feiertage der jeweiligen Länder konnte in diversen Studien bestätigt werden. (4,29,30) Inwiefern das Auftreten von Verletzungen mit falscher Handhabung, Alkoholeinfluss oder fehlerhaften Feuerwerkskörpern in Zusammenhang steht konnte Aufgrund der unzureichenden Datenlage nicht analysiert werden.

Der Altersdurchschnitt in unserem PatientInnenkollektiv beträgt 24,6 Jahre bei einer Standardabweichung von 11,9. PatientInnen zwischen 8 und 50 Jahren wurden behandelt. In einer Studie von Canner et al. (30) beträgt der

Altersdurchschnitt 22,8 Jahre, Hatamabadi et al. (31) beschreiben einen Durchschnitt von 24 Jahren bei einer Range zwischen 3 und 72 Jahren. In einer indischen Studie sind PatientInnen zwischen 5 und 24 Jahren mit 63,6% am häufigsten betroffen. Puri et al. (4) führen das vermehrte Auftreten der Verletzungen bei Kindern auf ihr aktives und experimentelles Verhalten, bei den jungen Erwachsenen auf ihre Abenteuerlust und erhöhte Risikobereitschaft zurück. Auch in unserer Studie sind Kinder und junge Erwachsene unter 25 Jahren mit 63,6% am häufigsten betroffen.

Bezogen auf das Geschlecht ergibt sich ein deutlich gehäuftes Auftreten der Verletzungen durch Feuerwerkskörper bei Männern mit 91 zu 9 Prozent gegenüber den Frauen. Die Prädisposition des männlichen Geschlechts kann durch internationale Studien bestätigt werden. Puri et al. (4) beschreiben ein Verhältnis von 87 zu 13 Prozent und in der Studie von Billock et al. (29) ist das männliche Geschlecht zu 75,7%, das weibliche Geschlecht zu 24,3% betroffen. Auch in diversen weiteren Studien konnte dieses Ergebnis bestätigt werden. (5,30–32) Die erhöhte Risikobereitschaft und die vermehrte Präsenz des männlichen Geschlechts während Feierlichkeiten mit Feuerwerkskörpern werden in verschiedenen Studien als Begründung dafür gesehen. (4,31)

In unseren Ergebnissen konnte ein vermehrtes Auftreten von Verletzungen im Kopf/Hals-Bereich mit 54,5% und im Bereich der Hände, je Seite jeweils mit 50%, nachgewiesen werden. An der Abteilung für Plastische Chirurgie wurde häufiger die rechte Hand, an der Abteilung für Kinderchirurgie häufiger die linke Hand behandelt. Ob diese Tatsache mit der Dominanz der Hände in Verbindung steht, kann nicht beurteilt werden, da diese in den meisten Fällen nicht dokumentiert wurde. Lässt man die Seite außer Acht und beachtet, dass sich 3 PatientInnen an beiden Händen Verletzungen zugezogen hatten, ergibt das eine Handverletzung in 19 Fällen. Die Hände sind somit mit 86,4 Prozent die am häufigsten betroffene Körperstelle. In der Literatur findet man verschiedene Studie, die mit diesen Ergebnissen korrelieren. Bei Puri et al. (4), Billock et al. (29), Hatamabadi et al. (31) sowie Canner et al. (30) kam es ebenfalls am häufigsten zu Verletzungen der Hände, gefolgt von Verletzungen am Kopf bzw. im Gesicht. In einer amerikanischen Studie aus dem Jahr 1998 wurde der Kopf als am häufigsten

betroffene Körperstelle beschrieben. (32) Es wird angenommen, dass diese beiden Körperstellen am häufigsten betroffen sind, da sie sich beim Entzünden der Feuerwerkskörper am nächsten an der Gefahrenquelle befinden. (4) Verletzungen der Augen sowie Knalltraumata wurden nicht in die Studie miteinbezogen.

Wie bereits erwähnt, führen Explosionen zu verschiedenen Arten von Verletzungen, welche in einer großen Bandbreite isoliert oder kombiniert auftreten können. In unserer Studie wurden die Verletzungen in Verbrennungen, Schürfwunden bzw. Fremdkörpereinsprengungen, leichte und schwere Weichteilverletzungen, knöcherne Verletzungen und komplette Amputationen eingeteilt. Im Gesamtkollektiv und an der Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie kam es am häufigsten zu knöchernen Verletzungen, an der Abteilung für Allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie waren jedoch Verbrennungen die häufigste Verletzungsart. Dieses Ergebnis korreliert somit nur teilweise mit anderen Studien, bei denen Verbrennungen die Verletzungsart Nummer 1 darstellt. (4,29,30) In einer Studie von Hatamabadi et al. (31) traten Risswunden mit 49% am häufigsten auf. Von den 50 PatientInnen mit Explosionsverletzungen der Hände, welche von Giessler et al. (5) für deren Studie untersucht wurden, wiesen 36 eine oder mehrere Frakturen der Finger oder Mittelhandknochen auf. 6 PatientInnen zogen sich eine komplette Amputation zu, in 2 dieser Fälle war dabei die Mittelhand betroffen. Bei den restlichen 4 PatientInnen kam es zu Amputationen von mehreren Fingergliedern, wobei der Daumen immer mitbetroffen war. Hazani et al. (9) beschreiben den Daumen in ihrer Studie über Explosionsverletzungen der Hände als den meist in Mitleidenschaft gezogenen Finger. Die PatientInnen der Kinderchirurgie zogen sich insgesamt eher leichter Verletzungen, darunter kleinflächige Verbrennungen, Schürfwunden und leichte Weichteilverletzungen zu. Amputationen traten nur bei Erwachsenen auf. Die Mehrheit der PatientInnen (n=17) zog sich eine Kombination aus mehreren Verletzungen zu. In vorangegangenen Studien wurden bestimmte Verletzungsarten einzelnen Feuerwerkskörpern zugeordnet. (4,9) Zum Beispiel führen Fontänen oder Wunderkerzen nur zu Verbrennungen, während Raketen und Böller eine Kombination aus Verbrennungen, Risswunden, Weichteilverletzungen und Frakturen zur Folge hat. (4) Eine derartige Auswertung

ist in unsere Studie nicht möglich, da in den meisten Fällen der genaue Unfallhergang und die verwendeten Feuerwerkskörper nicht dokumentiert wurden. Ein Vergleich der Verletzungsarten gestaltet sich insgesamt als schwierig, da diese in den verschiedenen Studien jeweils anders definiert und erfasst wurden.

Da es sich bei den meisten Verbrennungen unserer PatientInnen nur um kleine Körperflächen handelte, konnten diese konservativ behandelt werden. Schürfwunden und Fremdkörpereinsprengungen wurde ebenfalls konservativ versorgt. Bei 12 PatientInnen (54,5%) war eine operative Versorgung der Verletzung notwendig. Eine sofortige Wundexploration mit Debridement fand bei allen PatientInnen statt. Die Wichtigkeit eines zeitnahen Debridements zur Infektionsvermeidung wurde in der Literatur bereits mehrfach erwähnt. (10,33) In 6 Fällen wurden die knöchernen Verletzungen durch Osteosynthesen fixiert. Die Fixation mittels Kirschner-Drähten wurde in diesem Zusammenhang in der Literatur beschrieben. (5,10) Giessler et al. (5) beschreiben die frühzeitige Spaltung des Karpaltunnels sowie der Loge de Guyon als wichtige Maßnahme gegen Nervenkompressionen. Eine andere Studie beschreibt die möglichst frühe Kompartmentspaltung um einem Kompartmentsyndrom vorzubeugen. (33) Auch in unsere Studie wurde bei 6 PatientInnen das Karpaldach sowie in einem Fall zusätzlich die Loge de Guyon gespalten. Saucedo et al. (10) geben in ihrer Studie zu bedenken, dass sich die akute mikrovaskuläre Versorgung bzw. Rekonstruktion aufgrund der oft großen Wundfläche einhergehend mit Verbrennungen und Quetschungen, als schwierig oder nicht möglich darstellt. Die Ergebnisse unserer Studie zeigen in 2 Fällen eine primäre Gefäßversorgung mittels Interponat sowie in einem Fall die Versorgung mittels Gefäßnaht. Die beiden Sehnennähte wurden ebenfalls bei der ersten Operation durchgeführt, während die dokumentierte Nervenversorgung mittels Interponat in einer sekundären Operation durchgeführt wurde. Bei 2 PatientInnen konnte ein spannungsfreier, primärer Wundverschluss durchgeführt werden. In 4 Fällen erfolgte ein zweizeitiger Wundverschluss. Saucedo et al. (10) beschreiben die Möglichkeit der temporären Defektdeckung großer Wunden mittels nichthaftenden Verbandsmaterialien sowie den Einsatz von Vakuumtherapie zur Defektverkleinerung. Der primäre Wundverschluss, darunter Stumpfbildungen, erfolgte am häufigsten mittels lokalen Lappenplastiken.

Dieses Vorgehen korreliert mit der Stumpfversorgung in der Studie von Giessler et al. (5), welche ebenfalls mit lokalen Lappenplastiken durchgeführt wurde. In der gleichen Studie (5) wurde der Einsatz von Filetlappenplastiken sowie einem Leistenlappen zur Primärversorgung beschrieben. Auch zwei unserer PatientInnen wurden primär mittels gestieltem Lappen versorgt. Dieses Vorgehen zeigt wie wichtig es ist, dass PatientInnen mit schweren Handverletzungen in einem Zentrum, welches mit dem nötigen materiellen Equipment sowie erfahrenen ÄrztInnen ausgestattet ist, behandelt werden.

Die Dauer des stationären Aufenthaltes variiert stark, bei einer Range zwischen 2 und 22 Tagen und einem Mittelwert von 9,2 Tagen. Giessler et al. (5) beschreiben eine gesamte stationäre Verweildauer zwischen 2 und 79 Tagen mit einem Median von 10 Tagen, wobei nicht klar ist, ob die stationären Aufenthalte der Folgeeingriffe miteinbegriffen wurden. Alle ambulant behandelten PatientInnen wiesen Verbrennungen und/oder Excoriationen auf. Weichteilverletzungen, knöcherne Verletzungen sowie Amputationen führten immer zu stationären Aufenthalten. Ein bestimmtes Verletzungsmuster kann den stationär aufgenommenen PatientInnen jedoch nicht zugeordnet werden. In der Studie von Billock et al. (29) wurden PatientInnen mit Frakturen und Amputationen häufiger stationär aufgenommen als PatientInnen mit anderen Verletzungen.

Da es sich bei unserer Studie um eine retrospektive Datenauswertung handelt, konnten etwaige Folgeschäden der PatientInnen nur durch die Einträge in die PatientInnenakten erhoben werden. Diese Dokumentation erfolgte jedoch leider nur lückenhaft. In 8 Fällen konnten Folgeschäden nachgewiesen werden, am häufigsten kam es dabei zu funktionellen Einschränkungen und Schmerzen. Giessler et al. (5) beschreiben in ihrer Studie zwar das Vorkommen von Folgeschäden in Form von Arbeitsunfähigkeit, jedoch nicht die Form der Einschränkung die dazu führt. Bickert (17) weist in diesem Zusammenhang auf die Wichtigkeit der Zusammenarbeit von PhysiotherapeutInnen, HandchirurgInnen, SchmerztherapeutInnen sowie PsychologInnen hin.

5 Schlussfolgerungen

Obwohl in Österreich der Verkauf und die Handhabung von Feuerwerkskörpern durch das Pyrotechnikgesetz streng reglementiert ist, kommt es immer wieder zu Unfällen mit teils schweren Verletzungsfolgen. Illegale Importe aus dem Ausland, welche nicht CE-zertifiziert sind und somit nicht den Qualitätsbestimmungen entsprechen, stellen dabei eine erhöhte Gefahr dar. Eine sorgfältige Handhabung ist die Voraussetzung für einen möglichst gefahrenfreien Umgang mit Feuerwerkskörpern. Aufklärungskampagnen könnten einen wichtigen Beitrag bei der Vermeidung von Unfällen mit Feuerwerkskörpern leisten. Von leichten Verbrennungen, über Risswunden und Frakturen bis hin zu Amputationen, die Bandbreite der resultierenden Verletzungen ist groß, ebenso ihre Behandlungsmöglichkeiten. Die PatientInnen mit schweren Verletzungen, welche am LKH Graz behandelt werden, stellen jedoch nur die Spitze des Eisbergs dar, da ein Großteil von Verletzten in umliegenden, peripheren Krankenhäusern versorgt wird. Dennoch ist es wichtig, dass schwer verletzte PatientInnen an einem Zentrum, wie dem LKH Graz, behandelt werden. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit, vor allem mit PhysiotherapeutInnen, nimmt in der Vermeidung bzw. Verminderung von Folgeschäden einen hohen Stellenwert ein.

6 Literaturverzeichnis

1. DSE_Pressinformation_Pyrotechnik_2016.pdf.
2. PyroTG 2010, Fassung vom 26.07.2017.pdf.
3. Lippert H, Altmann S, Assadian O, Becker H-P, Bieler D. Wundatlas: Kompendium der komplexen Wundbehandlung. 3. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2012. 400 S.
4. Puri V, Mahendru S, Rana R, Deshpande M. Firework injuries: a ten-year study. J Plast Reconstr Aesthet Surg. September 2009;62(9):1103–11.
5. Giessler GA, Leopold A, Germann G, Heitmann C. Explosionsverletzungen der Hände. Unfallchirurg. 1. November 2006;109(11):956–63.
6. Philipson MR, Southern SJ. The blast component of firework injuries—not to be underestimated. Injury. Oktober 2004;35(10):1042–3.
7. HAHN P, BREDERLAU J, KRIMMER H, LANZ U. Explosion Injuries of the Hand. J Hand Surg [Internet]. 29. August 2016 [zitiert 8. Februar 2017]; Verfügbar unter:<http://journals-1.sagepub-1.com-1pubmed.han.medunigraz.at/doi/abs/10.1016/S0266-7681%2896%2980191-4>
8. Kollig E, Franke A. Verletzungen durch Schuss oder Explosion an der Hand. Unfallchirurg. 1. Juli 2012;115(7):608–15.
9. Hazani R, Buntic RF, Brooks D. Patterns in Blast Injuries to the Hand. Hand N Y N. März 2009;4(1):44.
10. Saucedo JM, Vedder NB. Firework-Related Injuries of the Hand. J Hand Surg. Februar 2015;40(2):383–7.
11. Schumpelick V, Bleese N, Mommsen U, Arlt G, Binnebösel M. Kurzlehrbuch Chirurgie. 8. Aufl. Stuttgart u.a.: Thieme; 2010. 936 S.
12. Wild T, Auböck J. Manual der Wundheilung: Chirurgisch-dermatologischer Leitfaden der modernen Wundbehandlung. 2007. Aufl. Wien; New York: Springer; 2006. 356 S.
13. Bickert B, Lehnhardt M. Schwere kombinierte Handverletzungen. Trauma Berufskrankh. 29. März 2012;1–3.
14. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie. 6. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2009.
15. Berger A, Hierner R. Plastische Chirurgie: Band IV: Extremitäten:

Extremitäten. 2009. Aufl. Berlin: Springer; 2008. 669 S.

16. Al-Qattan MM, Al-Tamimi AS. Localized hand burns with or without concurrent blast injuries from fireworks. *Burns*. Mai 2009;35(3):425–9.

17. Bickert B. Therapie der schweren kombinierten Handverletzung. *Trauma Berufskrankh*. 1. Oktober 2013;15(2):165–8.

18. Boyce DE, Shokrollahi K. Reconstructive surgery. *BMJ*. 25. März 2006;332(7543):710–2.

19. Knobloch K, Vogt PM. Die rekonstruktive Sequenz des 21. Jahrhunderts. *Chir*. 1. Mai 2010;81(5):441–6.

20. Vogt PM. Praxis der Plastischen Chirurgie: Plastisch-rekonstruktive Operationen - Plastisch-ästhetische Operationen - Handchirurgie - Verbrennungschirurgie: ... - Handchirurgie - Verbrennungschirurgie. 2011. Aufl. Berlin: Springer; 2011. 940 S.

21. Jeschke MG, Kamolz L-P, Shahrokhi S. Burn Care and Treatment: A Practical Guide. 2013. Aufl. Wien ; New York: Springer; 2013. 188 S.

22. Simman R. Wound Closure and the Reconstructive Ladder in Plastic Surgery. *J Am Coll Certif Wound Spec*. Jänner 2009;1(1):6.

23. Breitner B, Gschnitzer F, Kern E, Berger A. Chirurgische Operationslehre, 14 Bde., Bd.14, Plastische Chirurgie, Handchirurgie. München; Baltimore: Urban & Fischer Verlag; 1997. 252 S.

24. Bickert B, Lehnhardt M. Fingerreplantation und mikrochirurgischer Daumenersatz. *Trauma Berufskrankh*. 1. Juni 2011;13(2):90–6.

25. Pet MA, Ko JH, Vedder NB. Reconstruction of the Traumatized Thumb: *Plast Reconstr Surg*. Dezember 2014;134(6):1235–45.

26. [alternatives to thumb replantation.pdf](#).

27. Graham DJ, Venkatramani H, Sabapathy SR. Current Reconstruction Options for Traumatic Thumb Loss. *J Hand Surg*. Dezember 2016;41(12):1159–69.

28. MD CHT, MD GCG, Chung DK, Gosain DA, Mehrara DB, Rubin DP, u. a. Grabb and Smith's Plastic Surgery. Seventh edition. Philadelphia: LWW; 2013. 976 S.

29. Billock RM, Chounthirath T, Smith GA. Pediatric Firework-Related Injuries Presenting to United States Emergency Departments, 1990-2014. *Clin Pediatr*

(Phila) [Internet]. 21. August 2016 [zitiert 8. Februar 2017]; Verfügbar unter: [http://journals-1sagepub-1com-](http://journals-1sagepub-1com-1pubmed.han.medunigraz.at/doi/full/10.1177/0009922816664063)

[1pubmed.han.medunigraz.at/doi/full/10.1177/0009922816664063](http://journals-1sagepub-1com-1pubmed.han.medunigraz.at/doi/full/10.1177/0009922816664063)

30. Canner JK, Haider AH, Selvarajah S, Hui X, Wang H, Efron DT, u. a. US emergency department visits for fireworks injuries, 2006–2010. *J Surg Res.* Juli 2014;190(1):305–11.

31. Hatamabadi HR, Tabatabaey A, Heidari K, Khoramian MK. Firecracker Injuries During Chaharshanbeh Soori Festival In Iran: a Case Series Study. *Arch Trauma Res.* Spring 2013;2(1):46.

32. Abdulwadud O, Ozanne-Smith J. Injuries associated with fireworks in Victoria: an epidemiological overview. *Inj Prev.* Dezember 1998;4(4):272.

33. Bumbaširevic M, Lesic A, Mitkovic M, Bumbaširevic V. Treatment of blast injuries of the extremity. *J Am Acad Orthop Surg.* 2006;14(10):S77–S81.