

Aus der Klinik für Anästhesiologie
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

**Präklinische Versorgung von Kindern mit thermischen Verletzungen unter
besonderer Berücksichtigung der geschlechtsspezifischen Einschätzung der
verbrannten Körperoberfläche**

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von
Anna Theresa Forst
aus München

Mainz, 2024

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. rer. physiol. Hansjörg Schild

1. Gutachterin: PD Dr. med. Eva Wittenmeier

2. Gutachter: PD Dr. med. Sven-Oliver Dietz

Tag der Promotion: 29. April 2025

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	III
1 Einleitung.....	1
1.1 Inzidenz thermischer Verletzungen	1
1.2 Definition und Schwere von Verbrennungen	1
1.3 Rolle der Erstversorgung bei Verbrennungsunfällen	1
1.4 Ziel der Dissertation	2
1.5 Fragestellung.....	3
1.5.1 Primäre Fragen.....	3
1.5.2 Sekundäre Fragen	3
2 Literaturdiskussion.....	4
2.1 Häufigkeit von Verbrennungen bei Mädchen und Jungen	4
2.2 Unfallumstände	4
2.3 Altersverteilung	5
2.4 Art und Lokalisation der Verletzungen	5
2.5 Störungen der Vitalfunktionen	7
2.6 Schmerzen	7
2.7 Körpertemperatur.....	8
2.8 Ausdehnung der Verbrennung.....	8
2.8.1 Fehleinschätzung der Verbrennungsfläche.....	8
2.8.2 Methoden zur Bestimmung der Verbrennungsfläche	9
2.9 Erstbehandlung.....	11
2.10 Flüssigkeitstherapie	11
2.11 Schmerztherapie.....	12
2.12 Transport	12
2.13 Mortalität und Letalität nach Verbrennungen.....	12
3 Studienpopulation und Methoden.....	15
3.1 Datensammlung.....	15
3.2 Datenextraktion	15
3.2.1 Notarztprotokolle.....	15
3.2.2 Klinikarchiv.....	15
3.2.3 Datendokumentation und -transformation	16
3.3 Statistische Verfahren.....	19
4 Ergebnisse.....	20
4.1 Patientencharakteristika.....	20
4.1.1 Anzahl, Geschlecht und Unfallumstände	20
4.1.2 Altersverteilung.....	20
4.1.3 Verletzungsursachen.....	21
4.1.4 Ausdehnung der Verletzungen infolge unterschiedlicher Ursachen.....	22

4.1.5	Lokalisation der Verbrennungen.....	22
4.1.6	Vitalparameter	23
4.1.7	Bewusstsein	23
4.1.8	Schmerzen.....	23
4.1.9	Körpertemperatur.....	23
4.2	Verbrannte Körperoberfläche: Vergleich der prähospitalen Einschätzung zur Festlegung in der Klinik unter Berücksichtigung der Geschlechter	23
4.3	Schweregrad der Verletzung: Vergleich der prähospitalen Einschätzung zur Festlegung in der Klinik unter Berücksichtigung der Geschlechter	27
4.4	Behandlung.....	29
4.4.1	Erstmaßnahmen.....	29
4.4.2	Erstbehandlung	29
4.4.2.1	Gefäßzugang	29
4.4.2.2	Infusionsvolumen	30
4.4.2.3	Temperaturmanagement	31
4.4.2.4	Wundabdeckung.....	31
4.4.2.5	Sicherung der Sauerstoffversorgung	32
4.4.2.6	Analgosedierung.....	32
4.4.3	Transport.....	34
4.4.3.1	Transportmittel.....	34
4.4.3.2	Alarmierungs- und Transportzeiten.....	35
4.4.4	Behandlungsdauer	35
5	Diskussion.....	36
5.1	Patientencharakteristika.....	36
5.1.1	Anzahl	36
5.1.2	Geschlecht.....	36
5.1.3	Unfallumstände.....	36
5.1.4	Altersverteilung.....	37
5.1.5	Ursachen der Verletzungen	37
5.1.6	Ausdehnung der Verletzung bei verschiedenen Ursachen	37
5.1.7	Lokalisation der Verletzungen.....	37
5.1.8	Vitalfunktionen	38
5.1.9	Bewusstsein	38
5.1.10	Schmerzen.....	38
5.1.11	Körpertemperatur.....	39
5.2	Ausdehnung der Verbrennung.....	39
5.2.1	Methoden zur Bestimmung der Flächenausdehnung der Verbrennung	42
5.3	Schweregrad der Verletzung.....	43
5.4	Behandlung.....	43
5.4.1	Erstmaßnahmen.....	43
5.4.2	Erstbehandlung	44
5.4.2.1	Gefäßzugang	44
5.4.2.2	Infusionsvolumen	44
5.4.2.3	Temperaturmanagement	46
5.4.2.4	Wundabdeckung.....	48
5.4.2.5	Sicherung der Sauerstoffversorgung	48
5.4.2.6	Analgosedierung.....	48
5.4.3	Transport.....	50
5.5	Vergleich der Ergebnisse mit der Leitlinie	51
5.5.1	Ausdehnung der Verbrennung.....	51
5.5.2	Verletzungstiefe	51
5.5.3	Vitalfunktionen	51

5.5.4	Kühlen	51
5.5.5	Infusionstherapie	52
5.5.6	Analgesedierung	52
5.5.7	Transport.....	53
5.6	Letalität.....	53
5.7	Morbidität.....	54
5.8	Stationäre oder ambulante Behandlung.....	54
5.9	Limitierungen der Arbeit.....	56
6	Zusammenfassung	58
6.1	Einführung	58
6.2	Fragestellung.....	58
6.3	Ergebnisse.....	58
6.4	Diskussion	59
7	Literaturverzeichnis	60
8	Anhang.....	67
9	Danksagung.....	70
10	Tabellarischer Lebenslauf.....	71

Abkürzungsverzeichnis

% vKOF	prozentualer Anteil verbrannte Körperoberfläche
°C	Grad Celsius
GCS	Glasgow Coma Scale (Bewusstsein)
i.m.	intramuskulär
i.n.	intranasal
i.o.	intraossär
i.v.	intravenös
k.A.	keine Angaben (= nicht dokumentiert)
KI	95 %-Konfidenzintervall
KOF	Körperoberfläche
LL	Leitlinie(n)
Max.	Maximum
Min.	Minimum
ml	Milliliter
ml/kgKG	Milliliter pro Kilogramm Körpergewicht
MW	Mittelwert
NRS	Numerische Rating Skala (Schmerz)
NSAR	Nicht steroidale Analgetika (Ibuprofen)
p50	50. Altersperzentile (Median)
RR	arterieller Blutdruck (nach Riva-Rocci)
SD	Standardabweichung
SpO ₂	pulsoximetrisch gemessen Sauerstoffsättigung
VAS	Visuelle Analogskala (Schmerz)
vKOF	verbrannte Körperoberfläche

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: DIE 9ER-REGEL NACH WALLACE	10
ABBILDUNG 2: TODESFÄLLE DURCH VERBRENNUNGEN IN DEUTSCHLAND BEI KINDERN UND JUGENDLICHEN IN DEN JAHREN 2000 BIS 2020	13
ABBILDUNG 3: HÄUFIGKEIT VON VERBRENNUNGEN IN VERSCHIEDENEN ALTERSKLASSEN IN JAHREN BEI MÄDCHEN UND JUNGEN	21
ABBILDUNG 4: PROZENTUALE HÄUFIGKEIT DER VERSCHIEDENEN VERLETZUNGSARTEN BEI MÄDCHEN UND JUNGEN.....	21
ABBILDUNG 5: BOX-PLOTS DER IN DER KLINIK FESTGESTELLTEN VKOF BEI VERSCHIEDENEN URSACHEN DER VERBRENNUNG.....	22
ABBILDUNG 6: BLAND-ALTMAN PLOT DER VERBRANNTEN KÖRPEROBERFLÄCHEN (VKOF) NACH PRÄHOSPITALER EINSCHÄTZUNG IM VERGLEICH ZU DER KLINISCH FESTGESTELLTEN VKOF.	24
ABBILDUNG 7: BLAND-ALTMAN PLOT DER VERBRANNTEN KÖRPEROBERFLÄCHEN (VKOF) PRÄKLINISCH UND IN DER KLINIK, ERGÄNZT UM DIE GRUPPIERUNG NACH GESCHLECHT.	25
ABBILDUNG 8: BOX-PLOTS DER PROZENTUALEN VKOF VOR ORT UND IN DER KLINIK, JEWEILS BEI MÄDCHEN UND JUNGEN.	26
ABBILDUNG 9: DIE BEZIEHUNGSZUORDNUNG DER GRUPPIERUNGEN $\leq 5\%$, $6 - 15\%$ UND $> 15\%$ VKOF AM UNFALLORT UND IN DER KLINIK	26
ABBILDUNG 10: PROZENTUALE HÄUFIGKEIT DER DETAILLIERT VOR ORT ANGEgebenEN VERBRENNUNGSGRADE BEI MÄDCHEN UND JUNGEN.....	27
ABBILDUNG 11: HÄUFIGKEIT VON GEFÄßZUGÄNGEN BEI VERSCHIEDEN AUSGEDEHNTEN VERLETZUNGEN (% VKOF).....	29
ABBILDUNG 12: INFUSIONSVOLUMINA (ML/KGKG) BEI $\leq 5\%$, $6 - 15\%$ UND $> 15\%$ VKOF.	31
ABBILDUNG 13: HÄUFIGKEIT DER VERWENDUNG VON ANALGETIKA, SEDATIVA UND DEREN KOMBINATIONEN.	32
ABBILDUNG 14: HÄUFIGKEIT DER GEWÄHLTEN REGIME ZUR ANALGOSEDIERUNG BEI ALLEN KINDERN.....	33
ABBILDUNG 15: VERTEILUNG DER ANALGOSEDIERUNGSREGIME BEI MÄDCHEN UND JUNGEN.	33
ABBILDUNG 16: SCATTER-PLOT MIT REGRESSIONSGERADE DER VERLETZTEN KÖRPEROBERFLÄCHE UND DER BEHANDLUNGSDAUER IN DER KLINIK IN TAGEN.....	35

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: ANZAHL DER KINDER MIT VERBRENNUNGEN IN DEN JAHREN 2017 – 2021	20
TABELLE 2: AM UNFALLORT DOKUMENTIERTE VITALPARAMETER (SpO ₂ , HERZFREQUENZ, BLUTDRUCK, ATEMFREQUENZ)	23
TABELLE 3: SCHWEREGRADE DER VERBRENNUNGEN BEI ALLEN VERLETZTEN, BEI MÄDCHEN UND BEI JUNGEN. EINSCHÄTZUNG VOR ORT UND FESTLEGUNG IN DER KLINIK	28
TABELLE 4: KREUZTABELLE MIT DER ANZAHL DER GEWÄHLTEN GEFÄßZUGÄNGE UND DEN DAZUGEHÖRIGEN, NACH AUSDEHNUNG GRUPPIERTEN VKOF.	30
TABELLE 5: KREUZTABELLE MIT ANALGOSEDIERUNGSREGIMEN UND DEN DAZUGEHÖRIGEN, NACH AUSDEHNUNG GRUPPIERTEN VKOF.	34
TABELLE 6: KREUZTABELLE MIT TRANSPORTMITTELN UND DEN DAZUGEHÖRIGEN, NACH AUSDEHNUNG GRUPPIERTEN VKOF.....	34

1 Einleitung

1.1 Inzidenz thermischer Verletzungen

Weltweit verursachten Feuer, Hitze und heiße Flüssigkeiten im Jahr 2017 fast 9 Millionen Verletzungen [1], 140.000 – 180.000 Menschen sterben jährlich infolge ihrer thermischen Verletzungen, davon im Jahr 2004 fast 96.000 Kinder und Jugendliche unter 20 Jahren [1, 2]. Besonders betroffen sind Menschen in Ländern mit niedrigem Lebensstandard [1, 2], aber auch Kinder in reichen Ländern mit Migrationshintergrund aus Entwicklungsländern [3].

Die Inzidenz und Schwere dieser Verletzungen nehmen weltweit ab, wobei erhebliche Unterschiede zwischen Ländern mit niedrigem und hohem Lebensstandard bestehen [1, 4].

In Deutschland werden jährlich mehr als 30.000 Kinder und Jugendliche im Alter unter 18 Jahren nach thermischen Verletzungen ärztlich versorgt [5, 6]. Im Jahr 2019 wurden fast 6.700 Kinder wegen Verbrennungen stationär aufgenommen [7]. Nach Staubach et al. wurden, gemäß Verbrennungsregister, im Jahre 2020 über 2000 Kinder operativ versorgt [8]. Eine Erhebung des Arbeitskreises „Das schwerbrandverletzte Kind“ der Deutschen Gesellschaft für Verbrennungsmedizin an 32 Kinderkliniken in Deutschland und Österreich von 2006 – 2015 ergab, dass 83 % der Kinder in speziellen Zentren für Brandverletzte behandelt wurden [9].

1.2 Definition und Schwere von Verbrennungen

Verbrennungen sind Gewebeschädigungen aufgrund von Hitzeeinwirkung. Dies kann durch Flammeneinwirkung, heiße Flüssigkeiten (Verbrühung), Dämpfe, heiße Stoffe, Kontaktflächen, elektrischen Strom u.a. entstehen. Bei Kindern sind 70 – 80 % der thermischen Verletzungen Verbrühungen [5, 6, 10, 11]. Im Folgenden werden alle thermischen Verletzungen, unabhängig von ihrer Entstehung, als Verbrennungen bezeichnet [10].

Entscheidend für das Ausmaß der Verbrennung ist die Höhe der Temperatur und die Dauer der Hitzeeinwirkung. Die Verbrennungen können zu Gewebeschäden an Haut und Schleimhaut oder tieferliegenden Gewebsnekrosen führen.

Die Flächenausdehnung der Verbrennung wird mit Hilfe verschiedener Regeln (Handflächen-Regel, 9er-Regel) bestimmt. Wegen der altersspezifischen Proportionen von Kopf zu Rumpf und Extremitäten wurde für Säuglinge und Kinder ein modifiziertes Schema (Lund-Browder-Chart) entwickelt [12].

Darüber hinaus wird der Schweregrad anhand der Tiefenausdehnung (Grad 1 – 4: epidermal, dermal, komplett dermal, Unterhautfettgewebe etc.) und der Lokalisation beurteilt [5, 6].

1.3 Rolle der Erstversorgung bei Verbrennungsunfällen

Erstmaßnahmen sind für ein optimales Therapieergebnis von hoher Bedeutung [13]. Noch vor Eintreffen des Notarztes kann bei kleineren Verbrennungen (< 15 % der Körperoberfläche,

KOF) die Kühlung mit Wasser analgetisch wirken. Wegen der Gefahr der Hypothermie sollte während des Transportes auf weitere Kühlung verzichtet und die Körpertemperatur überwacht werden.

Brandverletzungen gelten als besonders schmerzhaft, deshalb hat in der präklinischen Versorgung eine adäquate Schmerzbehandlung Priorität [10]. In älteren Untersuchungen wurde die unzureichende medikamentöse Schmerztherapie nach Verbrennungsunfällen bei Kindern beklagt [14-18]. Ende der 1980er-Jahre erhielten nur 28 % der vom Kölner Notarztsystem versorgten Verbrennungspatienten ein Analgetikum [19]. Angesichts der medizinischen und psychischen Langzeitfolgen unbehandelter Akutschmerzen [16], liegt es nahe die gegenwärtige Praxis der präklinischen Schmerztherapie nach kindlichen Verbrennungen zu untersuchen.

Die Indikation zur Einweisung in ein Zentrum für schwerbrandverletzte Kinder richtet sich nach Tiefe und Ausdehnung der Verbrennung [10]. Untersuchungen der 1980er und 1990er-Jahren aus Deutschland zeigten, dass vor allem die Beurteilung von Ausdehnung bzw. Schweregrad der Verbrennung und die daraus abgeleitete Infusionstherapie oft fehlerhaft waren [18, 19]. Eine Überschätzung der verbrannten Fläche gilt als eine mögliche Ursache für die mehrfach beschriebene präklinische Überinfusion [20-22]. Der Einschätzung durch den Rettungsdienst oder Notarzt kommt somit erhebliche Bedeutung zu.

Eine geschlechtsspezifische Unterscheidung der Einschätzung der Verbrennung und der Behandlungsmodalitäten im Rahmen der Erstversorgung wurde bisher nicht vorgenommen.

1.4 Ziel der Dissertation

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die aktuelle Qualität der präklinischen Erstversorgung von Kindern nach Verbrennungen zu erfassen, wobei ein Schwerpunkt auf der Einschätzung der Verbrennungsfläche liegt. Als Goldstandard sollen die Empfehlungen der S2k-Leitlinie (LL) zur Behandlung thermischer Verletzungen im Kindesalter (Verbrennung, Verbrühung) aus dem Jahr 2015 zu Grunde gelegt werden [10]. Dabei sollen erstmals auch etwaige geschlechtsspezifische Unterschiede in der Versorgung analysiert werden.

Die präklinische Erstversorgung wird anhand der Daten aus Notarztprotokollen der Kinder und Jugendlichen ausgewertet, die mit Verbrennungen in die Kinderklinik der Universitätsmedizin Mainz eingeliefert wurden. Die Angaben zu Verbrennungsausmaß und -tiefe werden mit der abschließenden Bewertung aus dem Arztbrief verglichen. Darüber hinaus wird die Notarzt-dokumentation bezüglich der Unfallumstände, der Störungen von Vitalfunktionen, der Schmerzstärke, der Erstmaßnahmen, der Erstbehandlung und des Transportes ausgewertet. Überprüft wird auch, ob das Ausmaß der Verbrennung mit der Dauer der Krankenhausbehandlung in Beziehung steht. Schließlich werden die Ergebnisse mit den Empfehlungen der Leitlinie verglichen.

1.5 Fragestellung

1.5.1 Primäre Fragen

- Wie hoch ist der Unterschied der präklinischen Einschätzung der verbrannten Körperoberfläche (vKOF) im Vergleich zur endgültig in der Klinik festgestellten vKOF?
- Unterscheiden sich die Einschätzungen der vKOF bei Mädchen und Jungen?
- Ist die Übereinstimmung bei der Einschätzung der vKOF von der Ausdehnung der Verletzung abhängig?

1.5.2 Sekundäre Fragen

- Orientiert sich das Volumen infundierter Elektrolytlösungen an der präklinisch eingeschätzten vKOF?
- Wurden die Schmerzen der verletzten Kinder erfasst?
- Welche Analgetika kamen zum Einsatz und bestand eine Beziehung zum Ausmaß der Verletzung?
- Wie oft wurden weitere Maßnahmen zur Vermeidung von Komplikationen getroffen (Kühlung, Wundabdeckung, Wärmeerhalt).

2 Literaturdiskussion

2.1 Häufigkeit von Verbrennungen bei Mädchen und Jungen

Laut einem Bericht der WHO sind weltweit Verbrennungen die fünfthäufigste Verletzungsursache (152,7/100.000) von Kindern unter 15 Jahren und mit 9,1 % - nach Verkehrsunfällen und Ertrinken - die dritthäufigste Todesursache (3,9/100.000) von Personen unter 18 Jahren [2, 23]. Verbrennungen mit Todesfolge sind die einzige Verletzungsart, von der Mädchen weltweit häufiger betroffen sind als Jungen [2, 23]. Dafür wird vor allem die hohe Zahl an Verbrennungen bei heranwachsenden Mädchen in Ländern mit niedrigem Lebensstandard in Süd-Ost-Asien, Afrika und im Nahen Osten verantwortlich gemacht [23]. In der Altersgruppe 15 – 19 Jahre ist die Mortalitätsrate der Mädchen mit 5,9/100.000 wesentlich höher als die von Jungen (1,6/100.000). Als Gründe dafür werden vermehrte Hilfstätigkeiten von Mädchen in der Küche, offenes Feuer und oft weite, leicht entflammbare Kleidungsstücke genannt [2].

Dagegen dominiert in der Mehrzahl der Publikationen über kindliche Verbrennungen aus Europa, den USA, Kanada und Australien das männliche Geschlecht, wobei das Verhältnis männlich:weiblich von 1,3:1 [9], 1,5:1 [24-26], 1,3 – 1,9:1 [5], 1,6:1 [27], 1,7:1 [28], 1,8:1 [29], 1,9:1 [14, 30-32], 2:1 [19] bis 2,6:1 [18] reicht. Für die auch in Deutschland höhere Verletzungsprävalenz bei Jungen [33] werden verschiedene Ursachen, wie vermehrtes Aktivitätsniveau, impulsiveres Verhalten und die unterschiedlichen Sozialisationsmuster bei den Geschlechtern diskutiert [23].

2.2 Unfallumstände

In einer aktuellen Übersichtsarbeit stellen Staubach et al. fest, dass in der Altersgruppe der unter Dreijährigen 60 – 80 % aller thermischen Verletzungen, die im Haushalt passieren, Verbrühungen sind und sich 85 % der Unfälle in Gegenwart der Eltern oder anderer Bezugspersonen ereignen [8]. Aus der Kinderklinik Graz wird über 1.586 kindliche Verbrennungsfälle in 25 Jahren berichtet, von den sich 80,2 % zu Hause ereigneten [34]. Laut einem Bericht aus dem Verbrennungszentrum in New Jersey, USA, zogen sich von 2.273 Kindern 66,3 % ihre Verbrennungen zu Hause zu [27]. Im Rahmen einer Untersuchung über die Wirksamkeit von Kühlung der Wunde mit Wasser, berichten Griffin et al., dass 85 % der fast 2.500 Verbrennungen zu Hause stattfanden [35].

Elrod et al. fanden in ihrer Analyse aus der Schweiz als häufigste Ursachen Gegenstände in der Küche (Backofen, Herd, Toaster, heiße Teller) gefolgt von Tee oder Kaffee, während Feuer oder Feuerwerkskörper nur selten (1 %) ursächlich waren [3].

Im Rahmen einer populationsbasierten Kohortenstudie aus Großbritannien, in der nicht nur Fälle erfasst wurden, in denen eine Behandlung in einer Notaufnahme erfolgte, fanden

Emond et al. die höchste Inzidenz im häuslichen Umfeld bei den bis zu Zweijährigen mit 72/1000 Kindern/Jahr [36]; nur 11 % der Verbrennungen wurden ärztlich behandelt.

2.3 Altersverteilung

Bei kindlichen Verbrennungspatienten werden Angaben über die Altersverteilung dadurch erschwert, dass sich die Altersdefinition von „Kindern“, die Angabe von Median oder Mittelwert beim Alter, und die Auswahlkriterien der Patienten, über die berichtet wird, in der Literatur unterscheiden.

In einer systematischen Übersichtsarbeit zur Epidemiologie von Verbrennungen zitieren Cheng et al. 31 Publikationen aus China, in denen Dutzende verschiedener Altersklassen, gerade bei Kindern, definiert werden [37]. Gleiches gilt für die meisten Publikationen aus Europa, den USA oder anderen Ländern: Jester et al. beschreiben 80 auf der Intensivstation behandelte Kinder, mit einem Altersmittelwert von 2,8 Jahren, ohne dass die Autoren angeben welche Altersspanne sie in ihre Auswertung einschlossen [18]. Eine Kohorte von Notärzten versorgten Patienten mit Verbrennungen aus Köln umfasst - neben Erwachsenen - auch 41 Kinder im Alter bis zu 14 Jahren, 25 davon waren bis zu drei Jahre alt, ein mittleres Alter wird nicht angegeben [19].

In manchen Publikationen wird die Anzahl von Kindern in unterschiedlichen Altersklassen, aber ohne Angabe von Lageparametern, berichtet [26, 32]. Ohnehin ist die Angabe des arithmetischen Mittels beim Alter [3, 20, 24, 30, 38-41], wegen der starken Dominanz von Verbrennungen bei Kindern im Alter von bis zu fünf Jahren, wenig aussagekräftig.

Ein Altersvergleich kann auch deswegen problematisch sein, weil verschiedene Kriterien bei der Auswahl der Patientenkollektive getroffen wurden: überwiegend ambulant Behandelte [3], ausschließlich Kinder mit Verbrühungen [42] oder nur sehr schwer Brandverletzte [24, 32, 39, 43]. Von den 61.540 in den Jahren 2010 – 2019 in deutschen Krankenhäusern behandelten Kindern unter 18 Jahren mit Verbrennungen waren 71 % jünger als fünf Jahre alt [44].

2.4 Art und Lokalisation der Verletzungen

Bei jüngeren Kindern (im Alter von bis zu vier Jahren) dominieren in neueren Untersuchungen die Verbrühungen mit bis zu 80 % [20, 29, 34], während bei Jugendlichen und Erwachsenen Verletzungen durch Flammeneinwirkung überwiegen [19, 45].

Ende der 1980er Jahre fanden Lechleuthner et al. [19] nur bei 42 % der Kinder bis zu 14 Jahren Verbrühungen. Dagegen berichten Jester et al. [18] aus den Jahren 1998 – 2001 bei Kindern, die auf der Intensivstation des Kinderverbrennungszentrums in Mannheim behandelt wurden, als häufigste Unfallart Verbrühung (72,5 %), gefolgt von Verbrennung durch Flammen (17,5 %).

Die Auswertung von 1.451 Kindern mit Verbrennungen der Jahre 1988 – 2012 an der Kinderklinik der Universität Graz zeigte in 65,1 % als Ursache Verbrühungen [34]. Bei 50 Kindern aus Boston, USA, die in den Jahren 2011 – 2012 verunfallten, waren für 70 % der Einweisungen Verbrühungen ursächlich [20]. Die Auswertung der Daten eines Verbrennungszentrums in New Jersey, USA, der Jahre 1995 – 2013 ergab bei 2.273 Kindern unter 18 Jahren 71,1 % Verbrühungen, bei 13 – 17-Jährigen waren 53,8 % der Verletzungen durch Flammen verursacht [27].

Ähnliche Ergebnisse ergab eine Auswertung der Kinderklinik der Universität Zürich: Bereits bei Kindern über 9 Jahre waren 73,0 % der Verletzungen die Folge einer Flammeneinwirkung [29]. Eine detaillierte Analyse der 4.373 Verbrennungsfälle der Universitätskinderklinik Zürich der Jahre 2006 – 2018 ergab wieder überwiegend Verbrühungen als Verletzungsursache [3]. Die Aufschlüsselung nach Herkunftsländern zeigt, dass Kinder, die aus Ländern mit niedrigem Entwicklungsstand (Pakistan, Irak, Eritrea) immigriert waren, häufiger als Kinder aus hochentwickelten Ländern (Großbritannien, Frankreich, Schweiz) Verbrennungsunfälle erleiden. Der Anteil an Verbrühungen war mit 71 % höher bei den Kindern, die aus gering entwickelten Ländern stammten, verglichen mit 52 % bei Kindern aus der Schweiz.

In einer systematischen Übersichtsarbeit zu Inzidenz und Ätiologie schwerer Verbrennungen in Europa fanden die Autoren, dass bei Kindern zwar Flüssigkeiten sehr viel häufiger für die Verletzungen ursächlich sind als Flammen, letztere aber zu großflächigeren und schwereren Schäden führen [46]. Bei 50 Kindern, davon 70 % infolge von Verbrühung und 16 % infolge von Flammen, war die verletzte Fläche nach Flammeneinwirkung mehr als doppelt so groß (vKOF 16,7 %) wie die nach Verbrühungen (vKOF 6,2 %) [20].

In einem Bericht des Arbeitskreises „Das schwerbrandverletzte Kind“ der Arbeitsgemeinschaft für Verbrennungsmedizin werden folgende Körperregionen als am häufigsten betroffen genannt: Rumpf 50 %, rechter Arm 40 %, linker Arm 30 %, linkes Bein 26 %, rechtes Bein 13 %, Kopf 26 %. Geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich der Lokalisation der Verbrennungen werden nicht berichtet [5, 6].

In der retrospektiven Auswertung von 749 Kindern der Universitätsklinik Zürich waren 41,1 % der Verbrennungen am Rumpf, 41 % im Gesicht und 40,7 % an den Armen [29]. Bei den 80 intensivmedizinisch in Mannheim behandelten Kindern waren bei 96 % der Kopf und das Gesicht, der Thorax (73 %), Arme (51 %), Beine (35 %), Abdomen (16 %) und Hände (14 %) verbrannt [18]. Die 2.273 kindlichen Patienten der Jahre 1995 – 2013 aus New Jersey, USA, (mittlere vKOF 8,9 %) wiesen am häufigsten Verbrennungen der unteren Extremitäten (39 %) auf [27].

Dagegen berichten Rawlins et al. [38] bei den 208 Kindern aus einer Notaufnahme in Nordengland innerhalb von zwölf Monaten über 41 % Verbrennungen an Handgelenk und Hand,

18 % an der oberen Extremität und nur 17 % an der unteren Extremität, während Rumpf und Kopf mit 8 % bzw. 7 % selten verbrannt waren.

In einem aktuellen Bericht aus 20 Ländern (mit vorwiegend mittlerem Nationaleinkommen) schreibt die WHO zur Lokalisation von Verbrennungen bei Kindern (≤ 18 Jahre): Rumpf 66 %, Arme und Beine je 56 %, Kopf und Hals 42 %, Hände und Handgelenke 38 % [41].

2.5 Störungen der Vitalfunktionen

Störungen der Vitalfunktionen, die bereits präklinisch zu Interventionen Anlass geben, sind nach Verbrennungsunfällen bei Kindern eher selten [5, 19] und weisen meist auf schwerwiegende Begleitverletzungen hin [47].

Oxygenierungsstörungen im Rahmen von Verbrennungsunfällen sind oft Folge von Verbrennungen im Gesicht, eines Inhalationstraumas oder der Kombination aus beiden [5]. Die Inzidenz des Inhalationstraumas bei Verbrennungsfällen liegt bei 20 – 30 % [48-50]. Eine Studie aus den Niederlanden von 5.524 Verbrennungsverletzungen der Jahre 2014 – 2018 kommt auf 14,7 % Patienten mit isoliertem Inhalationstrauma und 7,2 % mit kombiniertem Trauma [51].

Die Häufigkeit eines Inhalationstraumas bei Kindern ist geringer [15, 43, 50, 52]: Sie lag bei Kindern in den USA in den Jahren 2003 – 2016 bei 2,4 – 3,5 % [26], nach einem Bericht der WHO international bei 7 % [41]. Allerdings sind die Morbidität und Letalität von Kindern mit Verbrennungsverletzungen, die auch ein Inhalationstrauma erlitten haben, deutlich erhöht [15, 43, 50, 52]. Der Flüssigkeitsbedarf bei der Kombination von oberflächlicher Verbrennung mit einem Inhalationstrauma ist um bis zu 50 % höher als es aufgrund der vKOF zu erwarten wäre [53].

In den wenigen Arbeiten, die den präklinischen Zustand von Kindern mit Verbrennungen zum Thema haben, werden Störungen des Bewusstseins nicht erwähnt [14, 18]. Die Arbeitsgruppe aus Köln berichtet zwar den Traumascore der Kinder (80,5 % hatten normale Vitalfunktionen), doch wird der im Traumascore enthaltene Glasgow-Coma-Score bei Kindern nicht separat ausgewiesen [19].

2.6 Schmerzen

Eich et al. betonen den hohen bis sehr hohen Bedarf an Schmerzmitteln brandverletzter Kinder und beschreiben zugleich die Schwierigkeiten einer adäquaten Schmerztherapie in der Präklinik [54]. Nach Hoffmann und Deanovic erhalten Kinder bei gleichem Verletzungsmuster deutlich weniger Analgetika als Erwachsene [55].

Eine Umfrage bei Rettungsdienstpersonal und die Analyse einer Datenbank mit Informationen über die Art der Verletzung sowie den Einsatz von Analgetika ergaben, dass die Schmerzstärke bei Kindern sehr viel seltener gemessen und dokumentiert wird als bei Erwachsenen

[17]. Holak et al. beklagen, dass im Rahmen von Notfalleinsätzen bei Kindern in den Jahren 2016 – 2018, darunter 89 Verletzte mit Verbrennungen, nur bei 1 % der Protokolle ein Schmerz-Score dokumentiert wurde [56].

2.7 Körpertemperatur

Insbesondere Kinder mit Verbrennungen > 10 % vKOF [14] und narkotisierte Verbrennungspatienten sind bei Klinikaufnahme oft hypotherm [57]. Eine Hypothermie nach präklinischen Kühlungsmaßnahmen ist mit einer erhöhten Letalität verbunden [57]. Daher sollten Kühlungsmaßnahmen durch Laien nach dem Eintreffen des Rettungsdienstes beendet werden und vielmehr Maßnahmen zum Erhalt der Körpertemperatur getroffen werden [13]. Jester und Hoppe warnen vor prolongierten Kühlungsmaßnahmen mit dem Schlagwort: „Nach der Hitze kommt die Kälte!“ [13].

Bei Aufnahme auf der Intensivstation des Verbrennungszentrums wiesen 22 % der von Jester et al. untersuchten Kinder eine Körpertemperatur < 35 °C auf, der niedrigste gemessene Wert war 31,7 °C. Wie viele Kinder bereits intubiert aufgenommen wurden, ist nicht erwähnt [18].

Dass eine Hypothermie bei Klinikaufnahme, zumindest bei Erwachsenen, selten ist, zeigt die retrospektive Auswertung von 929 Verbrennungsunfällen eines Traumazentrums in New York [58]: nur 1,6 % aller Verbrennungspatienten waren hypotherm (< 35 °C). Von 17 Patienten mit > 70 % vKOF waren 35 % hypotherm, von den übrigen Patienten nur 0,9 %.

2.8 Ausdehnung der Verbrennung

Die Ausdehnung einer Verbrennung wird in Prozent der gesamten Körperoberfläche angegeben (% vKOF). Eine korrekte Einschätzung der vKOF am Unfallort ist wichtig, da sie die Entscheidung über eine Klinikeinweisung, die Wahl der Analgesie und der Infusionstherapie mitbestimmt [59-61].

2.8.1 Fehleinschätzung der Verbrennungsfläche

Eine Überschätzung der Ausdehnung der vKOF am Unfallort, im Vergleich zu der Feststellung der vKOF in der Klinik, wurde mehrfach beschrieben [20, 22, 39, 60-64].

Chan et al. fanden Diskrepanzen in der Einschätzung der vKOF bei ausgedehnteren Verbrennungen (> 10 %) [62]. McCulloh et al. konstatieren Fehleinschätzungen vorwiegend bei Kindern unter fünf Jahren mit > 10 % vKOF [39]. Im Gegensatz dazu stellen Jester et al. in einer Übersichtsarbeit fest, dass die Überschätzung der Verletzungsfläche um so größer ausfällt, je kleiner die Verbrennungen und je jünger die Kinder sind [65].

Wachtel et al. legten 60 Zeichnungen von Verbrennungen verschiedener Ausdehnung und Konfiguration 24 Mitarbeitern einer Verbrennungsabteilung mit unterschiedlicher Berufserfahrung zur Beurteilung vor: Deren Schätzungen - im Vergleich zu der planimetrierten Fläche -

variierten umso stärker, je größer die Fläche war und umso weniger Erfahrung die Urteilenden hatten [66]. Die Abweichungen bei Anwendung der 9er-Regel waren größer als bei der Nutzung des Lund-Browder-Schemas.

2.8.2 Methoden zur Bestimmung der Verbrennungsfläche

Verschieden Regeln und Schemata zur Abschätzung der vKOF werden in Übersichtsartikeln regelmäßig genannt [5, 6, 8, 13, 54, 65]. Die Wichtigsten sind die Handflächen-Regel, die 9er-Regel (s. Abb. 1) nach Wallace [67] und das Lund-Browder-Schema (s. Anhang 2).

Bei Verwendung der Handflächen-Regel herrscht gelegentlich Unsicherheit darüber, ob die innere Fläche der Hand ohne oder mit den Fingern gemeint ist [62, 68]. Die LL [10] nennt für Kinder die Handfläche mit den Fingern des Verletzten als Maß für 1 % der KOF, ebenso wie Königs und Fattouh [5], Hundeshagen et al. [6], Klein et al. [61] und Staubach et al. [8], während Jester et al. allgemein von der „Handinnenfläche des Patienten“ sprechen [65].

Im Gegensatz dazu stellen Adams und Vogt in einer Übersichtsarbeit fest, dass beim Erwachsenen die gesamte Handfläche 1 % der Körperoberfläche entspricht, beim Kleinkind nur die Palmarfläche [47]. Bei Lund und Browder wird die Fläche der Hand vom Handgelenk bis zu den Endgliedern der Finger mit 1,5 % der KOF angegeben [12].

Nagel und Schunk vermaßen bei 91 Kindern im Alter von ein bis dreizehn Jahren die Körperoberflächen und Handflächen und fanden, dass die Handfläche mit den Fingern etwa 1 % der KOF entspricht [69]. Bei Erwachsenen fanden Berry et al., dass die Handflächenregel mit zunehmendem Body-Mass-Index die vKOF massiv überschätzt [70].

Lund und Browder veröffentlichten ihr Schema im Jahr 1944 [12]. Seitdem wurden zwar Modifikationen vorgeschlagen [71, 72], allerdings wird nach wie vor das Original mit aufwändigen Berechnungen zitiert [5, 6, 10, 11, 54]. Obwohl dieses Schema als Goldstandard gilt, erscheint es wegen seiner Komplexität (s. Anhang 2) [66] für die Anwendung am Unfallort wenig geeignet [73].

Bei Erwachsenen [45] wird die vKOF meist mit der 9er-Regel nach Wallace [67] abgeschätzt. Diese wurde ursprünglich zur Berechnung des Flüssigkeitsbedarfs nach Verbrennungen entwickelt. Die Publikation enthält aber auch Empfehlungen zur Infusionstherapie bei Kindern im Alter von neun Jahren (Abb. 1).

2.9 Erstbehandlung

Die Erstmaßnahmen am Unfallort umfassen die Überprüfung und Sicherung der Vitalfunktionen [10]. Das sofortige Kühlen von Verbrennungsverletzungen mit handwarmem Wasser für die Dauer von 10 – 15 Minuten wird von Initiativen für brandverletzte Kinder¹, Stiftungen² oder Rettungsdienstorganisationen^{3 4} vor allem zur Schmerzlinderung propagiert.

Die LL rät zur lokalen Kühlung nur bis zum Eintreffen des Notarztes [10]. Bei Verbrennungen > 15 % vKOF, bei Kleinkindern, Säuglingen und Neugeborenen soll auf die Kühlung ganz verzichtet werden und auch bei Verletzungen im Bereich des Körperstamms und am Kopf sollte nicht gekühlt werden [13]. Die Sorge dabei ist durch großflächige Anwendung eine systemische Hypothermie des Kindes zu verursachen [54].

Königs und Fattouh betonen, dass das „posttraumatische Kühlen unmittelbar nach Unterbindung der Wärmequelle und Entkleidung des Patienten erfolgen“ und nur die betroffene Region umfassen soll [5]. Dabei sollte lauwarmes Wasser (mindestens 15 °C) für maximal 15 Minuten verwendet werden.

Steriles Abdecken von Brandwunden mit einer nicht adhäsiven Wundauflage (z.B. Metalline®), gilt als Standardbehandlung bei der Erstversorgung [6, 10, 14, 54, 61, 74-76]. Zum Zeitpunkt der Verlegung in eines der drei Verbrennungszentren der Niederlande waren die Verletzungen bei 88,5 % der Kinder in den Jahren 2007 – 2008 abgedeckt, was eine signifikante Verbesserung im Vergleich zu den 64,4 % aus der Beobachtungsperiode von 2002 – 2004 darstellte [14].

2.10 Flüssigkeitstherapie

Nach einer Verbrennung kommt es infolge der Freisetzung verschiedener Mediatoren zum kapillären Leck mit Verlust von Wasser, Elektrolyten und Proteinen [67, 77]. Die Menge an Flüssigkeit, die im Rahmen der Erstversorgung infundiert werden sollte, hängt damit vom Flächenausmaß der Verbrennung und dem Gewicht des Kindes ab. Die LL empfiehlt eine Flüssigkeitstherapie mit isotonen, kristalloiden Lösungen; dabei sollte eine Menge von 10 ml/kg Körpergewicht und Stunde nicht überschritten werden [10]. Bei < 10 % vKOF kann

¹ <https://www.paulinchen.de/brandverletzung/erste-hilfe/> [zitiert am 02.01.2023]

² <https://www.stiftung-gesundheitswissen.de/gesund-leben/notfall-erste-hilfe/richtig-handeln-bei-verbrennungen-vorsicht-mit-dem-kuehlen> [zitiert am 02.01.2023]

³ <https://www.drk.de/hilfe-in-deutschland/erste-hilfe/verbrennungen/> [zitiert am 02.01.2023]

⁴ <https://www.malteser.de/aware/hilfreich/erste-hilfe-bei-verbrennung-das-musst-du-beachten.html> [zitiert am 02.01.2023]

auch auf das Legen eines Zugangs verzichtet werden, wenn das nächste Krankenhaus innerhalb von 30 Minuten erreicht werden kann [10].

Zu ähnlichen Werten, mit einer Empfehlung zu einer moderaten präklinischen Flüssigkeitstherapie bei Schwerbrandverletzten, kommen Eich et al. [54] und Sander [75]. Landsleitner und Keil postulieren, dass auch bei großflächigeren Verbrennungen und kurzen Transportzeiten auf eine präklinische Infusionstherapie verzichtet werden kann [74].

Eine allzu großzügige präklinische Infusionstherapie nach Verbrennungen wird meist als Konsequenz aus der Überschätzung der vKOF beschrieben [20-22].

2.11 Schmerztherapie

Die Behandlung von Schmerzen hat nach der LL oberste Priorität [10]. Dafür geeignete Medikamente sind Ketamin, die Opioiden Fentanyl und Piritramid, sowie zur Sedierung das Benzodiazepin Midazolam. Schwache „periphere“ Analgetika, wie Paracetamol oder Ibuprofen halten Hüging und Rothe in der Erstversorgung thermisch verletzter Kinder für nicht ausreichend [11].

In der AWMF-Leitlinie wird erwähnt, dass Ketamin (oder Esketamin) auch intranasal (mit einem speziellen Sprühapplikator) oder rektal verabreicht werden kann [10]. Landsleitner und Keil weisen darauf hin, dass präklinisch bei Kindern der analgetische Effekt bei intranasaler Applikation von Ketamin oder Fentanyl, wegen des geringeren prozeduralen Aufwands, sogar früher einsetzt als bei i.v. Anwendung. Daher sollte bei Kindern mit Verbrennungen grundsätzlich mit der intranasalen Analgosedierung begonnen werden [74].

2.12 Transport

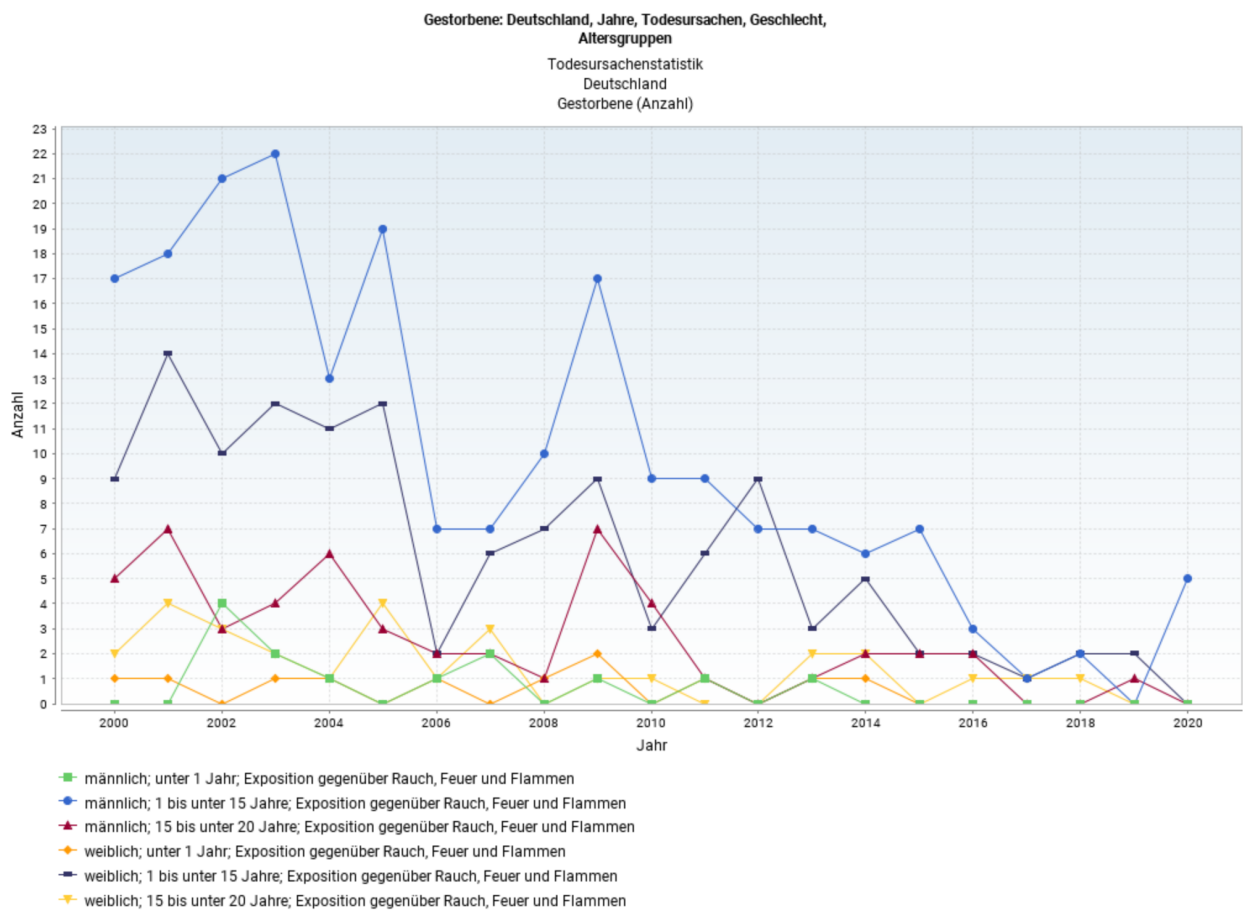
Die LL zur Behandlung thermischer Verletzungen im Kindesalter empfehlen den Transport der Kinder mit Notarzt [10], wobei - wie auch in den LL der Deutschen Gesellschaft für Verbrennungsmedizin von 2021 [45] - kein spezielles Transportmittel erwähnt wird.

2.13 Mortalität und Letalität nach Verbrennungen

In Ländern mit niedrigem und mittlerem Lebensstandard übersteigt die Mortalitätsrate infolge von Verbrennungen von Mädchen mit 4,9/100.000 Einwohner die von Jungen mit 3,0/100.000 in allen Altersstufen [2]. In den wohlhabenden Ländern nimmt weltweit die Zahl der Todesfälle durch Verbrennungen ab [1, 2, 4, 44, 46, 78].

In den USA nahm die Zahl der Kinder unter 18 Jahren, die mit Verbrennungen in eine Klinik eingewiesen wurden, in den Jahren 2003 – 2012 um 4,6 % ab. In den Jahren 2012 – 2016 sank die Zahl um 13,4 %, wobei sich die Letalität in diesem Zeitraum von 0,5 % auf 0,3 % verringerte [26].

Für Deutschland meldet das Statistische Bundesamt in der Altersgruppe von 0 – 17 Jahren eine Zunahme von 5609 auf 6683 Behandlungsfälle im Krankenhaus [7] in den Jahren 2010 – 2019. Dagegen weist die Todesursachenstatistik seit Jahrzehnten rückläufige Zahlen bei Verbrennungsopfern aller Altersstufen auf [44]. Die Zahl der verstorbenen Kinder und Jugendlichen nach „Exposition gegenüber Rauch, Feuer und Flammen“ der Jahre 2000 – 2020 zeigt Abbildung 2, wobei nach Altersgruppen (< 1 Jahr, 1 bis < 15 Jahre, 15 bis < 20 Jahre) und nach Geschlecht differenziert wurde. Diese Zahlen beinhalten die Verstorbenen mit den ICD-Kodes T20.0 bis T31.9 (nach ICD10-WHO-Version 2019), in denen auch Verbrühungen als Unfallursache enthalten sind [79]. Diese Todesfälle nahmen in den letzten beiden Jahrzehnten ab, wobei insbesondere die Zahlen in der Altersgruppe 1 bis < 15 Jahre bei beiden Geschlechtern zurückgegangen sind. Ein Überwiegen des männlichen Geschlechts bei den Todesfällen unter den Kindern aller Altersgruppen ist - im Gegensatz zu den Erwachsenen - in den letzten vier Jahren dieser Statistik nicht mehr zu verzeichnen (Abb. 2).



© Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022 | Stand: 09.12.2022 / 11:06:55

Abbildung 2: Todesfälle durch Verbrennungen in Deutschland bei Kindern und Jugendlichen in den Jahren 2000 bis 2020. Quelle: [44].

Die Letalität von Kindern nach Verbrennungsunfällen in hoch entwickelten Ländern wird heute weitgehend bestimmt von der Ausdehnung der Verbrennung und dem Vorliegen eines Inhala-

tionstraumas [31, 49, 52, 80]. Bei Erwachsenen spielen zusätzlich ein hohes Alter und vorbestehende Erkrankungen eine Rolle. Nach Daten von Capek et al. verringerte sich das Risiko an Verbrennungen zu versterben (adjustiert nach Alter, Geschlecht und vKOF) in den letzten drei Jahrzehnten jedes Jahr um durchschnittlich 2,12 % [52].

Auch Säuglinge und Kleinkinder unter zwei Jahren haben bei einer vKOF < 30 % eine exzellente Prognose [80, 81]. Manche Vertreter der pädiatrischen Verbrennungsmedizin postulieren, dass auch bei Kindern mit schwersten Verbrennungen - bis auf ganz wenige Ausnahmen (100 % vKOF Grad 3) - eine Behandlung begonnen werden sollte [49].

In der Auswertung von Moehrlen et al. aus Zürich mit 749 Kindern aus den Jahren 1998 – 2001 betrug die Letalität 0,4 % [29]. Zwei der drei Verstorbenen hatten Verbrennungen von 55 % bzw. 90 % der KOF erlitten.

Kraft et al. fanden bei der Auswertung von 952 Schwerverbrannten (> 30 % vKOF) eines Verbrennungszentrums in Toronto, Kanada, aus den Jahren 1998 – 2009, dass die Letalität mit größerer vKOF zunahm, diese aber nicht vom Alter oder dem Geschlecht der Kinder abhing [31]. Die Letalität von Kindern mit Inhalationstrauma war mit 23 % signifikant höher als bei Kindern ohne Inhalationstrauma (7 %). Eine kritische Grenze für ein erhöhtes Risiko zu versterben, fanden die Autoren bei ca. 60 % vKOF, obwohl auch bei einer vKOF > 90 % noch 55 % der Kinder überlebten [31].

Trotz dieser beeindruckenden Erfolge der Akutbehandlung von Kindern mit Verbrennungen im Krankenhaus, stimmen die Ergebnisse einer australischen Studie nachdenklich [82, 83]. Bei einer Nachbeobachtungszeit von im Median 18 Jahren, war die Langzeitletalität von Personen, die im Alter von weniger als 15 Jahren eine Verbrennung erlitten hatten, 1,6fach erhöht gegenüber einer nach Alter, Geschlecht, Vorerkrankungen und sozioökonomischen Daten vergleichbaren Gruppe ohne Verbrennung in der Kindheit [83]. 38 % der späteren Todesfälle wurden als Folge der früheren Verbrennung angesehen.

3 Studienpopulation und Methoden

3.1 Datensammlung

In einer retrospektiven Kohortenstudie wurden die Aufnahmeprotokolle der Kinderklinik der Universitätsmedizin Mainz aus den Jahren 2017 – 2021 nach Fällen von Verbrennungen bei Säuglingen, Kindern und Jugendlichen unter 18 Jahren durchsucht.

Danach wurden die dazugehörigen Protokolle der Rettungsdienst- und Notarzteinsätze aus den papiergebundenen Krankenakten (Archiv der Klinik für Kinderchirurgie, Gebäude 109) oder der digitalen Krankenakte (SAP, Dateiversion 7500.2.7.1152, Build: 1867842, Patch-Level: 7) gesucht.

Der Antrag zur Genehmigung dieser Studie wurde durch das Votum der Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz (Nr. 2022-16478-retrospektiv) positiv beschieden.

3.2 Datenextraktion

3.2.1 Notarztprotokolle

Den Notarztprotokollen wurden folgende Informationen entnommen und als 38 Variablen in das Programm Excel (Microsoft® Excel für Mac, Version 16.67) eingegeben (s. Anhang 1):

Fallnummer, Geburtsdatum, Geschlecht, Unfalldatum, Unfallzeit, Uhrzeit bei Alarmeingang, Uhrzeit bei Übergabe an die Klinik, Unfallumstände, Erstmaßnahmen durch Laien, pulsoximetrisch gemessene Sauerstoffsättigung (SpO₂), Herzfrequenz, systolischer Blutdruck, diastolischer Blutdruck, Atemfrequenz, Körpertemperatur am Unfallort, Glasgow-Coma-Scale (GCS), Schmerzstärke (numerische Rating Skala, NRS, bzw. visuelle Analogskala, VAS), Körpergewicht, geschätzte verbrannte Fläche in Prozent der Körperoberfläche, Schweregrad der Verbrennung, Lokalisation der Verbrennung, Kühlungsmaßnahmen, Wundabdeckung, Zugang zum Gefäßsystem, Sauerstoffgabe/Beatmung, Analgetika/Sedierung und Art der Applikation, Menge und Art der Infusionslösung, Maßnahmen zum Wärmeerhalt, Transportmittel.

3.2.2 Klinikarchiv

Aus den Krankenakten wurden folgende Informationen entnommen: Art der Zuweisung (primär, sekundär), Körpertemperatur bei Aufnahme, Fläche der verbrannten Körperoberfläche in Prozent und Grad der Verbrennung (dokumentiert im ärztlichen Abschlussbericht), Körpergewicht, Dauer der Behandlung auf der Intensivstation und der Normalstation, Dauer der Krankenhausbehandlung.

3.2.3 Datendokumentation und -transformation

Danach wurden die Daten - soweit erforderlich - transformiert und in ein Datenblatt des Programms SPSS (Version 27.0.1.0) übertragen, um sie einer statistischen Auswertung unterziehen zu können (Anhang 1). Einzelne Variablen wurden neu berechnet.

Das **Alter** der Kinder wurde als neue Variable in Jahren, Monaten und Wochen berechnet als Differenz aus Geburtsdatum und Unfalldatum.

Die primär als Freitext formulierten **Unfallumstände** wurden gruppiert in Unfälle „zu Hause, Freizeit“, „Kita/Schule“ und sonstige.

Anhand der Beschreibung des **Unfallhergangs** wurden folgende Ursachen der thermischen Verletzung unterschieden: Verbrühungen, Verbrennungen, Kontaktverletzungen und sonstige. Verletzungen durch alle Arten von Flüssigkeiten (Wasser, Tee, Kaffee, Milch, etc.) wurden als Verbrühungen gewertet, Verletzungen durch Öl oder Fett als sonstige Ursache.

Erstmaßnahmen durch Laien wurden gruppiert in Kühlung mit Wasser, sonstige Maßnahmen (z.B. Entfernen der Kleidung) oder keine Erstmaßnahmen.

Die **SpO₂** wurde in % gemessen, die **Herzfrequenz** als Schläge/Minute, der **Blutdruck** in mmHg, die **Atemfrequenz** als Atemzüge/Minute, die Körpertemperatur in °C, die **GCS** auf einer Skala von 3 – 15, die **NRS/VAS** auf einer Skala von 0 – 10.

Die Verbrennungen vor Ort wurden dokumentiert in den **Schweregraden** 1, 2, 2A, 2B, 3 und Kombinationen daraus. Um die Einschätzung der Schweregrade vor Ort mit der Dokumentation in der Klinik (Grad 1 wird in der Klinik nicht dokumentiert) vergleichen zu können, wurde eine Neugruppierung vorgenommen: wurden vom Notarzt mehrere Schweregrade angegeben (z.B. Grad 1 und Grad 2B) wurde nur der jeweils höchste Schweregrad (hier: Grad 2) zum Vergleich herangezogen. Gleiches galt für den Fall, dass im Abschlussbericht zwei Schweregrade vermerkt waren (s. Anhang 1). Verglichen wurden damit nur die Eingruppierung in die jeweils höchsten dokumentierten Schweregrade vor Ort und in der Klinik.

Der Unfallzeitpunkt und der Zeitpunkt des Eintreffens des Notarztes waren nur selten dokumentiert. Insbesondere waren sehr selten paarweise Zeiten pro Fall vorhanden, so dass eine sinnvolle Auswertung der Hilfsfristen nicht vorgenommen werden konnte.

Aus der **Alarmierungszeit** und dem **Zeitpunkt der Klinikaufnahme** wurde die **Zeitdauer bis zur Klinikaufnahme** errechnet.

Bei der Einschätzung der **verbrannten Körperoberfläche** in Prozent der Gesamtkörperoberfläche durch den Notarzt wurde in manchen Fällen ein Bereich (z.B. 20 – 30 %) dokumentiert; in diesen Fällen wurde ein Mittelwert gebildet und weiter ausgewertet.

Um Verbrennungsausdehnungen unterschiedlicher Relevanz vergleichen zu können, wurden drei **Untergruppen** von Verletzten mit einer geschätzten **vKOF** von $\leq 5\%$, **6 – 15 %** und **> 15 %** gebildet, da Fehleinschätzungen der vKOF um $< 5\%$ als klinisch wenig relevant gelten [84, 85] und bei großflächigen Verletzungen ($> 15\%$ vKOF) nicht mit Wasser gekühlt werden soll [10].

Die verbrannte **Körperregion** war in den Notarztprotokollen oft detailliert beschrieben; aus diesen Angaben wurden als Lokalisation die Übergruppen Kopf, Gesicht, Rumpf und Extremitäten gebildet. Bei Verletzung mehrerer Körperregionen wurde jede Region kodiert.

Kühlungsmaßnahmen, sterile **Wundabdeckung** und Maßnahmen zum **Wärmeerhalt** wurden dann als vorgenommen bewertet, wenn diese im Notarztprotokoll vermerkt waren.

Die Art des **Zugangs zum Gefäßsystem** wurde vermerkt, ebenso die Applikation von **Sauerstoff** oder die Sicherung der Luftwege durch **Intubation** oder supraglottische Atemwegssicherung.

Im Fall einer **Infusionstherapie** wurde die Art der verwendeten Infusionslösung und das applizierte Gesamtvolumen (in ml) registriert. Um die Infusionsmenge bezogen auf die verletzte Körperoberfläche bei Kindern unterschiedlichen Alters und damit Körpergewichts bewerten zu können, wurde die Infusionsmenge in ml pro Kilogramm Körpergewicht (ml/kgKG) berechnet. Falls weder im Notarztprotokoll noch in der Krankenakte ein Körpergewicht angegeben war, wurde als Körpergewicht der Median der geschlechtsspezifischen 50. Altersperzentile (p50) aus einem Nomogramm entnommen [86].

Jedes dokumentierte **Analgetikum** oder Sedativum wurde einzeln kodiert und der **Applikationsweg** vermerkt. Wurden mehrere Applikationswege für die Analgosedierung gewählt (intravenös/intraossär und oral/nasal/rektal), wurde nur der intravasale Weg kodiert.

Um die Vielzahl der verwendeten Regime zur **Analgosedierung** übersichtlich zu charakterisieren, wurden **vier Gruppen** entsprechend der jeweils führenden Substanz definiert: Regime enthält Ketamin, enthält Opioide (ohne Ketamin), enthält nur Sedativa oder enthält nur schwache Analgetika.

Das für den Weitertransport in die Klinik verwendete **Transportmittel** (Rettungsfahrzeug mit Notarztbegleitung, Rettungshubschrauber) wurde vermerkt, ebenso ob es sich um einen **Primär- oder Sekundärtransport** handelte.

Bei Klinikaufnahme wurde die **Körpertemperatur** erhoben und das in der Klinik gemessene **Körpergewicht** dokumentiert.

Aus den ärztlichen Abschlussberichten wurde die klinisch festgestellte **Fläche** der Verbrennung (in % der KOF) und der **Grad der Schädigung** entnommen. In den wenigen Fällen mit mehr als einem Verbrennungsgrad im Arztbrief, wurde der höchste Grad für die weitere Auswertung kodiert.

Wie im Fall der Einschätzung der vKOF durch den Notarzt, wurden auch bei der Bewertung der **vKOF in der Klinik** Gruppen gebildet mit $\leq 5\%$, **6 – 15 %** und **> 15 %** verbrannter KOF.

Die **Dauer der Behandlung auf der Intensivstation**, der Normalstation und die gesamte **Krankenhausaufenthaltsdauer** in Tagen wurde aus den Angaben in der Krankenakte errechnet.

Einzelheiten der Datendokumentation und -transformation siehe auch **Anhang 1**.

3.3 Statistische Verfahren

Die Fallzahlplanung und die statistische Auswertung der Daten wurde nach den Empfehlungen des Instituts für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) der Universität Mainz vorgenommen. Die Fallzahlplanung basiert auf der Schätzung des 95 %-Konfidenzintervalls für die mittlere absolute Differenz (% vKOF Notarzt – % vKOF Klinikarzt).

Folgende Annahmen lagen zugrunde: Als klinisch relevant gelten Unterschiede von $\geq 5\%$ [84, 85]. Standardabweichungen (SD) bei Prä- und Post-Einschätzung sind nicht größer als 6 %. Damit ist die SD der absoluten Differenz nicht größer als $\sqrt{2} \times 6\% = 8,5\%$. Wenn die Breite des 95%-Konfidenzintervalls bei Prä- und Posteingeschätzung nicht größer als 5 % sein soll, sind mindestens 45 Fälle zu inkludieren. Die Fallzahlplanung gilt für beide Subpopulationen, damit sind mindestens 45 Mädchen und 45 Jungen zu inkludieren.

Die Daten wurden mit dem Programm IBM SPSS Statistics (Version 27.0.1.0) ausgewertet. Für eine erste Analyse wurden Häufigkeitstabellen der Werte aller Variablen erstellt und geeignete Variablen einer deskriptiven statistischen Analyse unterzogen.

Zusammenhänge zwischen nominal (z.B. dem Einsatz einer Therapiemaßnahme) und ordinal skalierten Variablen (z.B. gruppierte vKOF) wurden mit dem Pearson- χ -Quadrat-Test bzw. dem Exakten Test nach Fisher geprüft.

Die Datenverteilung metrischer Variablen wurde mit Häufigkeits-Histogrammen und Q-Q-Diagrammen auf Normalverteilung geprüft. Um einen möglichen Zusammenhang zwischen zwei metrischen Variablen zu prüfen, wurden Scatter-Plots angefertigt und danach ggf. eine lineare Korrelationsanalyse gerechnet.

Die Übereinstimmung der Schätzung der vKOF am Unfallort mit der Bestimmung der vKOF in der Klinik wurde mittels Bland-Altman-Plot graphisch dargestellt [87].

Als Maß der Übereinstimmung von zwei Schätzungen wurde der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) berechnet; dabei wurde ein einfach zufälliges Modell gewählt [88].

Als Maß für die Interrater-Reliabilität bei der Bestimmung der ordinalen Variable Verbrennungsgrad durch die Notärzte und die Klinik wurde das gewichtete Cohens κ berechnet [89].

Bei normalverteilten Daten zweier unverbundener Stichproben (weiblich/männlich) wurde der t-Test, bei nicht normalverteilten Daten unverbundener Stichproben der Mann-Whitney-U-Test und bei verbundenen Stichproben (vor Ort \Leftrightarrow Klinik) der Wilcoxon-Vorzeichen-Test verwendet. Zum Vergleich mehrerer unabhängiger Stichproben nicht normalverteilter Daten, die durch kategoriale Variablen definiert sind (z.B. gruppierte vKOF unterschiedlicher Ursache), wurde der Kruskal-Wallis-Test verwendet.

Für alle Tests wurde eine beidseitige Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % für den Fehler 1. Art ($\alpha = 0,05$) akzeptiert.

4 Ergebnisse

4.1 Patientencharakteristika

4.1.1 Anzahl, Geschlecht und Unfallumstände

Zu 329 Aufnahmeprotokollen von Kindern mit Verbrennungen aus fünf Jahren waren 104 Notarztprotokolle auffindbar. Verzichtet wurde auf die Auswertung von 78 Fällen, in denen die Kinder von Eltern oder Begleitpersonen direkt in die Klinik gebracht wurden, ebenso auf die Auswertung der 70 Rettungsdienstprotokolle ohne Beteiligung eines Notarztes.

Von den 104 Kindern mit Verbrennungen der Jahre 2017 – 2021, für die Notarztprotokolle vorlagen und die in dieser Arbeit ausgewertet wurden, waren 38 weiblich und 66 männlich. Zu Hause oder in der Freizeit verunfallten 86 Kinder (82,7 %), in der Kita oder der Schule zwei Kinder (1,9 %), in 16 Fällen (15,4 %) waren die Unfallumstände nicht dokumentiert.

Die dokumentierten Unfallumstände von Mädchen und Jungen unterschieden sich nicht.

Die Anzahl der Kinder mit Verbrennungen in den untersuchten fünf Jahren zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Anzahl der Kinder mit Verbrennungen in den Jahren 2017 – 2021.

Jahr	2017	2018	2019	2020	2021
Anzahl	14	12	24	28	26

4.1.2 Altersverteilung

Die Kinder waren im Median 17 Monate alt (Min. fünf Tage, Max. 14 Jahre). Das jüngste Mädchen war zum Zeitpunkt des Unfalls fünf Tage, das älteste 14 Jahre alt (Altersmedian 18 Monate). Die Jungen waren zwischen fünf Wochen und elf Jahren alt (Altersmedian 17 Monate). Abbildung 3 zeigt die Altersverteilung in Jahren.

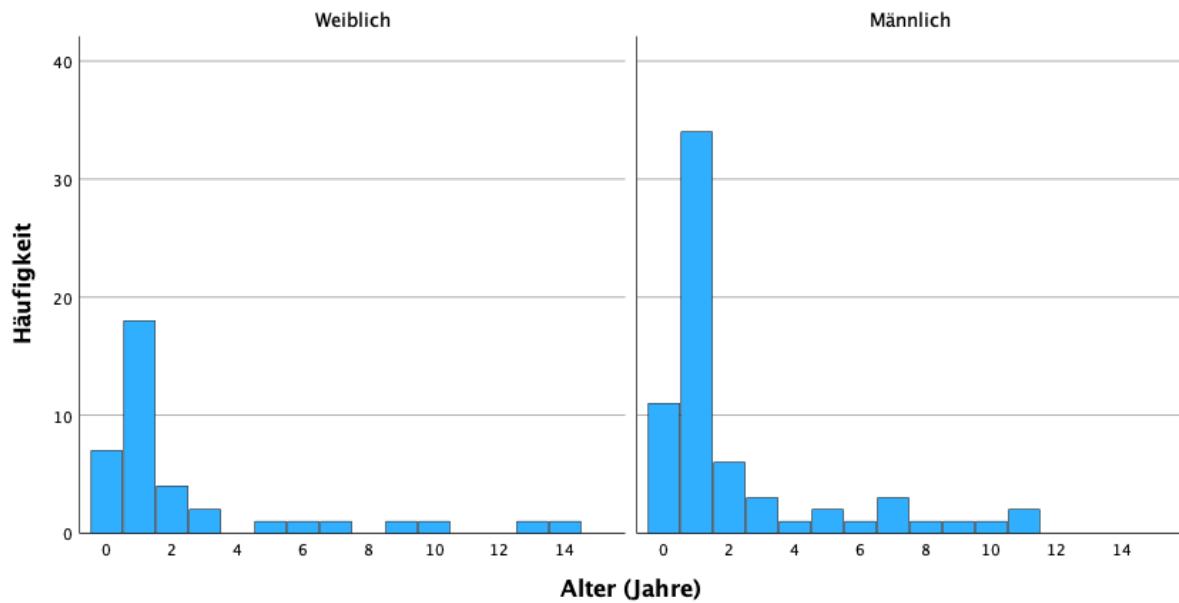


Abbildung 3: Häufigkeit von Verbrennungen in den verschiedenen Altersklassen in Jahren bei Mädchen (n = 38) und Jungen (n = 66)

4.1.3 Verletzungsursachen

Verbrühungen durch heiße Flüssigkeiten waren mit 94 Fällen (90,4 %) am häufigsten, gefolgt von Flammen mit sechs Betroffenen (5,8 %), zwei Kontaktschädigungen (1,9 %) und zwei sonstigen Ursachen (Öl, Fett 1,9 %). Verbrühungen erlitten 61 Jungen und 33 Mädchen, Verbrennungen durch Flammen vier Jungen und zwei Mädchen. Die Häufigkeitsverteilung der Verletzungsarten bei beiden Geschlechtern zeigt Abbildung 4.

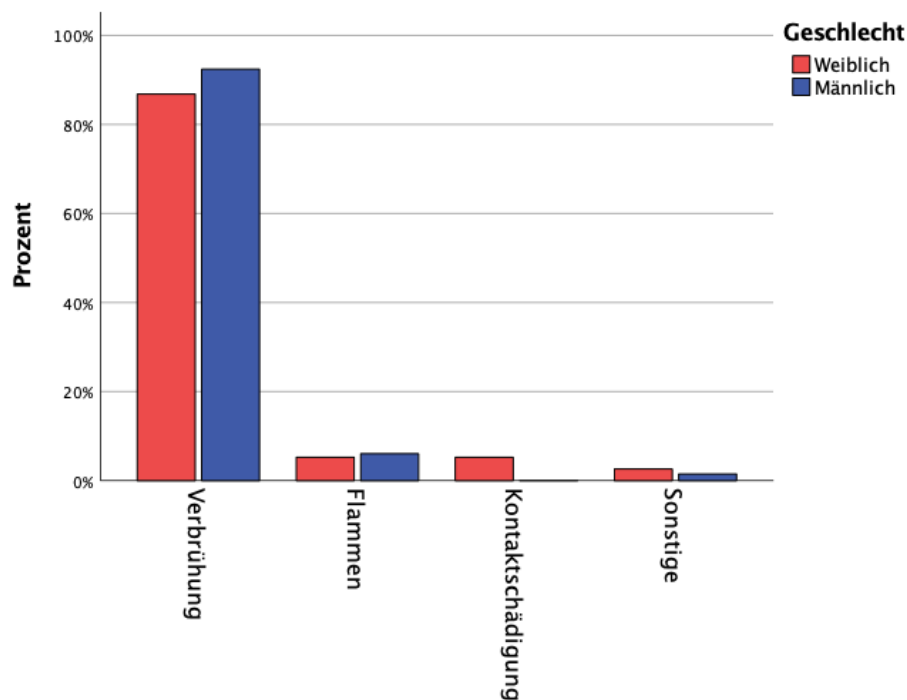


Abbildung 4: Prozentuale Häufigkeit der verschiedenen Verletzungsarten bei Mädchen und Jungen.

4.1.4 Ausdehnung der Verletzungen infolge unterschiedlicher Ursachen

Eine Analyse von Ursachen und Ausdehnung von Verbrennungen zeigt, dass die Fläche der verletzten Körperoberfläche infolge von Flammen ($n = 6$, Median 15 % vKOF) größer war als bei anderen Ursachen ($n = 98$, Median 7 % vKOF, Abb. 5).

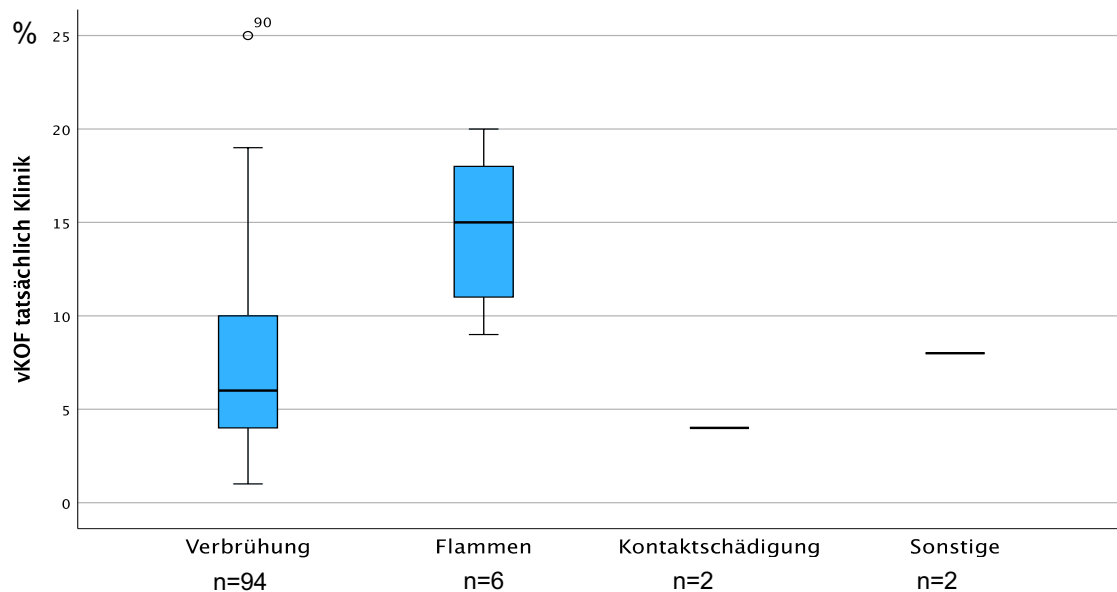


Abbildung 5: Box-Plots der in der Klinik festgestellten vKOF bei verschiedenen Ursachen der Verbrennung.

Die Verteilung der vKOF über die vier Kategorien von Verbrennungsursachen war nicht identisch (Kruskal-Wallis-Test $p = 0,020$). Paarweise Vergleiche ergeben, dass sich die Flächen der vKOF nach Flammeneinwirkung statistisch signifikant von denen infolge von Verbrühungen unterscheiden ($p = 0,003$).

4.1.5 Lokalisation der Verbrennungen

Als Lokalisationen der Verbrennungen wurden sechsmal der Kopf (5,8 %) angegeben, 32-mal das Gesicht (30,8 %), 70-mal der Rumpf (67,3 %) und 78-mal (75,0 %) die Extremitäten.

Von den sechs Kindern, bei denen Flammen als Verbrennungsursache berichtet wurden, hatten vier auch Verletzungen im Gesicht.

Bei den 38 Mädchen mit Angaben zur Lokalisation wurde zweimal (5,3 %) der Kopf genannt, fünfmal (13,2 %) das Gesicht, 26-mal (68,4 %) der Rumpf und 32-mal (84,2 %) die Extremitäten.

Bei den 66 Jungen mit Angaben zur Lokalisation wurde viermal (6,1 %) der Kopf genannt, 27-mal (40,9 %) das Gesicht, 44-mal (66,7 %) der Rumpf und 46-mal (69,7 %) die Extremitäten. Verbrennungen im Gesicht waren bei Jungen mit 40,9 % häufiger als bei Mädchen mit 13,2 %.

4.1.6 Vitalparameter

Die Herzfrequenz wurde in 90 Fällen dokumentiert, der systolische Blutdruck in 26, der diastolische Blutdruck in 17 und die Atemfrequenz in 63 Fällen (Tab. 2).

Tabelle 2: Am Unfallort dokumentierte Vitalparameter (SpO₂, Herzfrequenz, Blutdruck, Atemfrequenz).

	SpO ₂ (%)	Herzfrequenz (Schläge/min)	RR systolisch (mmHg)	RR diastolisch (mmHg)	Atemfrequenz (Atemzüge/min)
N	91	90	26	17	63
Mittelwert	98	139	114	74	24
Median	99	135	112	72	25
Minimum	93	76	80	50	11
Maximum	100	220	162	112	50

Keiner der erfassten Vitalparameter wies altersbezogen deutlich pathologische Werte auf.

4.1.7 Bewusstsein

Als Maß für eine Bewusstseinsstörung wurde der Glasgow-Coma-Score in 89 Fällen (33-mal = 86,8 % der Mädchen, 56-mal = 84,8 % der Jungen) erfasst. Der GCS betrug bei beiden Geschlechtern im Median 15, der niedrigste Wert bei Mädchen und Jungen war jeweils drei.

4.1.8 Schmerzen

Die Schmerzintensität am Unfallort wurde mit der NRS oder der VAS bei 21 Mädchen (55,3 %) und bei 29 Jungen (43,9 %) gemessen. Bei den Mädchen lag die Stärke der Schmerzen im Median bei 6/10 (Min. 0, Max. 9), bei den Jungen im Median bei 7/10 (Min. 0, Max. 10).

4.1.9 Körpertemperatur

Die Körpertemperatur wurde präklinisch 28-mal (10-mal bei Mädchen, 18-mal bei Jungen) und bei Aufnahme in der Klinik 86-mal (30-mal bei Mädchen, 56-mal bei Jungen) dokumentiert.

Die vor Ort gemessene Temperatur betrug im Mittel 36,7 °C (Min. 35,1, Max. 38,2 °C) bei Klinikaufnahme 36,9 °C (Min. 35,2, Max. 38,4 °C). Die Temperaturen von Mädchen und Jungen unterschieden sich nicht statistisch signifikant (Daten nicht gezeigt).

4.2 Verbrannte Körperoberfläche: Vergleich der prähospitalen Einschätzung zur Festlegung in der Klinik unter Berücksichtigung der Geschlechter

Die Spannweite der vom Notarzt vor Ort geschätzten vKOF aller Kinder betrug zwischen 2 % und 40 % (n = 90, Mittelwert 13,9 %). In der Klinik wurde die vKOF zwischen 1 % und 25 % angegeben (n = 103, Mittelwert 8,0 %). Bei den fünf Mädchen und neun Jungen, bei denen

nur in der Klinik die vKOF festgelegt wurde, lagen die Werte der vKOF zwischen 2 % und 25 % (Mittelwert 10,4 %, Median 9,5 %).

Der Bland-Altman Plot zeigt, dass die Verbrennungen vor Ort im Mittel um 6,35 % der KOF höher eingeschätzt wurden (95 %-Konfidenzintervall 4,91 – 7,78), als sie in der Klinik bestimmt wurden (Abb. 6); vor allem im Bereich größerer vKOF liegen Werte außerhalb der Grenzen der Übereinstimmung (unter Toleranzbereich: -6,97, KI: -9,42 – -4,51; oberer Toleranzbereich 19,67, KI: 17,21 – 22,12).

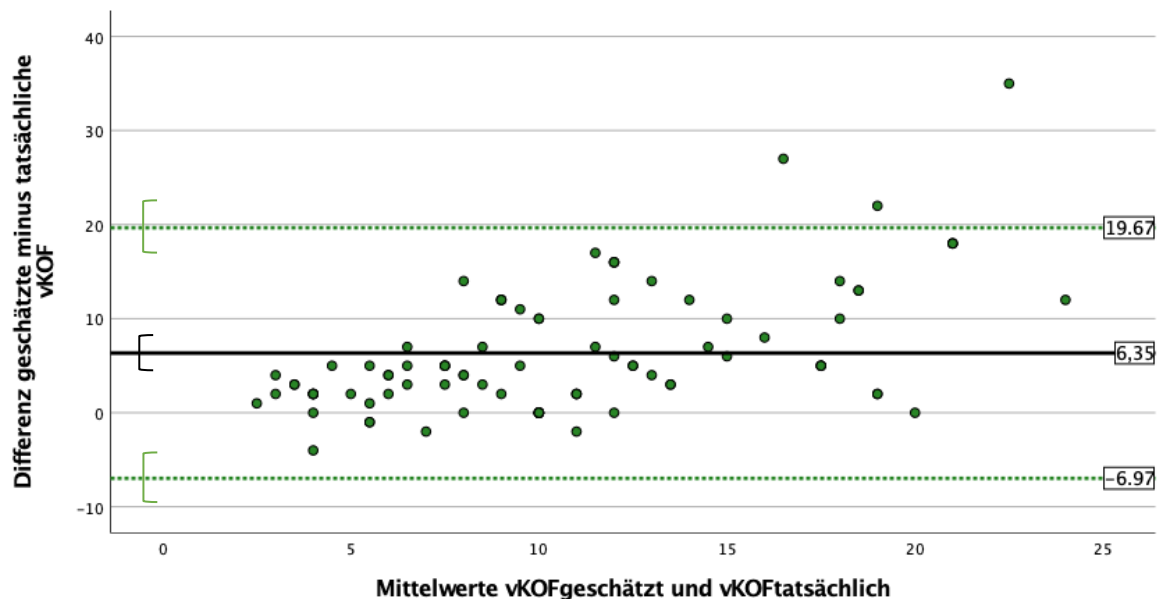


Abbildung 6: Bland-Altman-Plot der verbrannten Körperoberflächen (vKOF) nach prähospitaler Einschätzung im Vergleich zu der klinisch festgestellten vKOF (n = 89). X-Achse: Mittelwerte der geschätzten und der tatsächlichen vKOF. Y-Achse: Differenz der geschätzten minus die tatsächliche vKOF. Die durchgezogene horizontale Linie markiert den Bias (mittlere Differenz + 6,35 %), die gepunkteten Linien beschreiben die Grenzen der Übereinstimmung („limits of agreement“), [kennzeichnen die 95 %-Konfidenzintervalle [90].

Abbildung 7 zeigt einen Bland-Altman-Plot ergänzt um die Darstellung des Geschlechts der verletzten Kinder. Die Fläche der Verbrennung von Mädchen wird vor Ort im Mittel um 7,91 % vKOF (KI: 5,45 – 10,37) überschätzt, die der Jungen um 5,47 % vKOF (KI: 3,70 – 7,25). Der Unterschied in der Fehleinschätzung der vKOF von Mädchen und Jungen ist statistisch nicht signifikant ($p = 0,105$, t-Test).

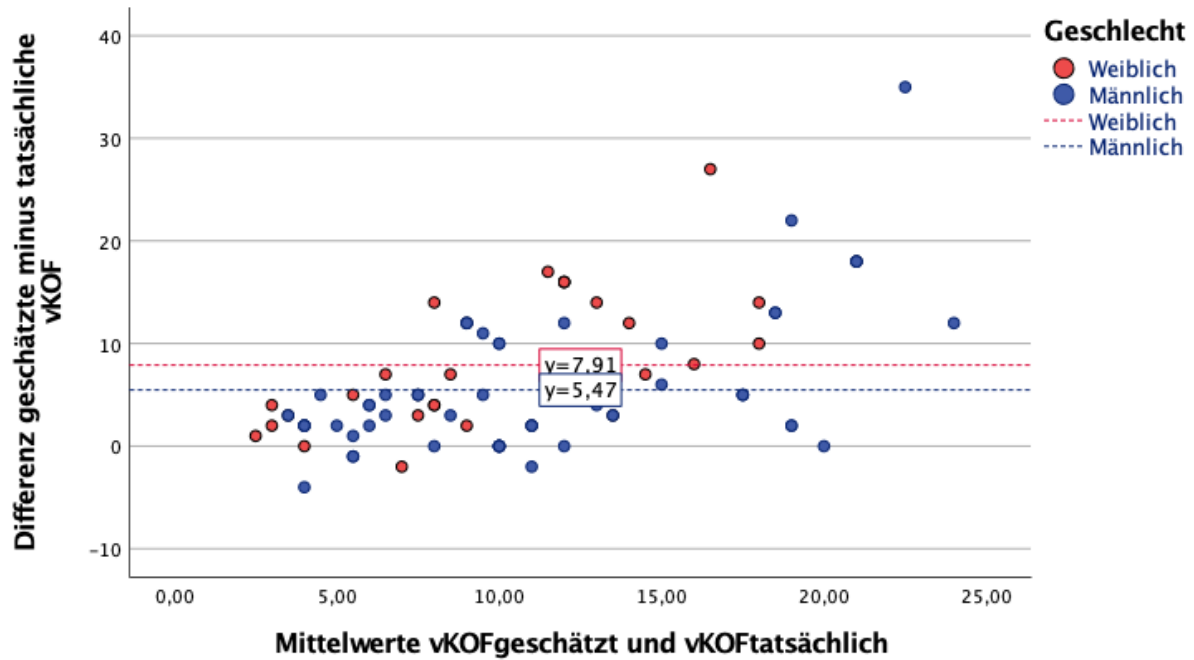


Abbildung 7: Bland-Altman Plot der verbrannten Körperoberflächen (vKOF) präklinisch und in der Klinik ($n = 89$), ergänzt um die Gruppierung nach Geschlecht (blaue Punkte: w; rote Punkte: m). Bezeichnung der Achsen wie in Abb. 6. Weitere Erklärung s. Text.

Um die Qualität der Übereinstimmung der prähospitalen Einschätzung der vKOF durch die Notärzte mit der Bestimmung der vKOF in der Klinik weiter zu überprüfen, wurde aus den 89 verfügbaren Wertepaaren als Reliabilitätsmaß der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) berechnet (s. 3.3 Statistische Verfahren) [88]. Der ermittelte Korrelationskoeffizient von 0,223 ($p = 0,119$) ist nach Cicchetti und Domenic [91] als schlecht zu bezeichnen, was einer schlechten paarweisen Schätzung der vKOF entspricht.

Eine Darstellung der % vKOF vor Ort und in der Klinik - getrennt nach Mädchen und Jungen - als Box-Plots wurde gewählt, da die Werte bei getrennter Darstellung nicht ideal normalverteilt sind. Abbildung 8 zeigt, dass bei beiden Geschlechtern die vKOF in der präklinischen Situation überschätzt wurde. Die Einschätzungen der vKOF bei Mädchen vor Ort (Median 12,0 %) und in der Klinik (5,0 %) unterschieden sich signifikant ($z = -4,71$, $p < 0,001$) und auch bei Jungen waren die Einschätzungen der vKOF vor Ort (12,0 %) und in der Klinik (8,0 %) signifikant unterschiedlich ($z = -5,72$, $p < 0,001$, Wilcoxon-Vorzeichen-Test).

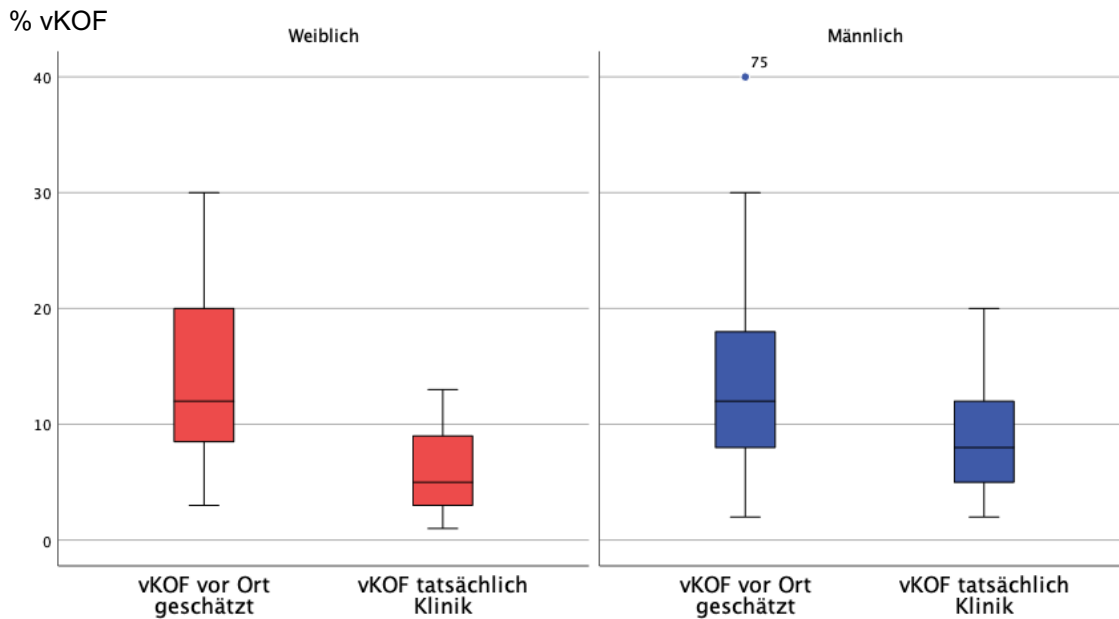


Abbildung 8: Box-Plots der prozentualen vKOF vor Ort und in der Klinik, jeweils bei Mädchen (n = 32) und Jungen (n = 57). Erklärung zu den Unterschieden siehe Text.

Die Werte der vKOF (in % der Körperoberfläche) wurden nach vordefinierten Kriterien in Gruppen eingeteilt. Am Unfallort wurde die vKOF 14-mal (13,5 %) mit ≤ 5 %, 48-mal (46,2 %) mit 6 – 15 % und 28-mal (26,9 %) mit > 15 % eingeschätzt (n=90).

In der Klinik waren es 40-mal (38,5 %) ≤ 5 %, 56-mal (53,8 %) 6 – 15 % und 7-mal (6,7 %) > 15 % vKOF (n=103).

Abbildung 9 zeigt die Beziehungen zwischen den vor Ort geschätzten und in den dazugehörigen in der Klinik festgestellten Fällen von vKOF in den drei Gruppen.

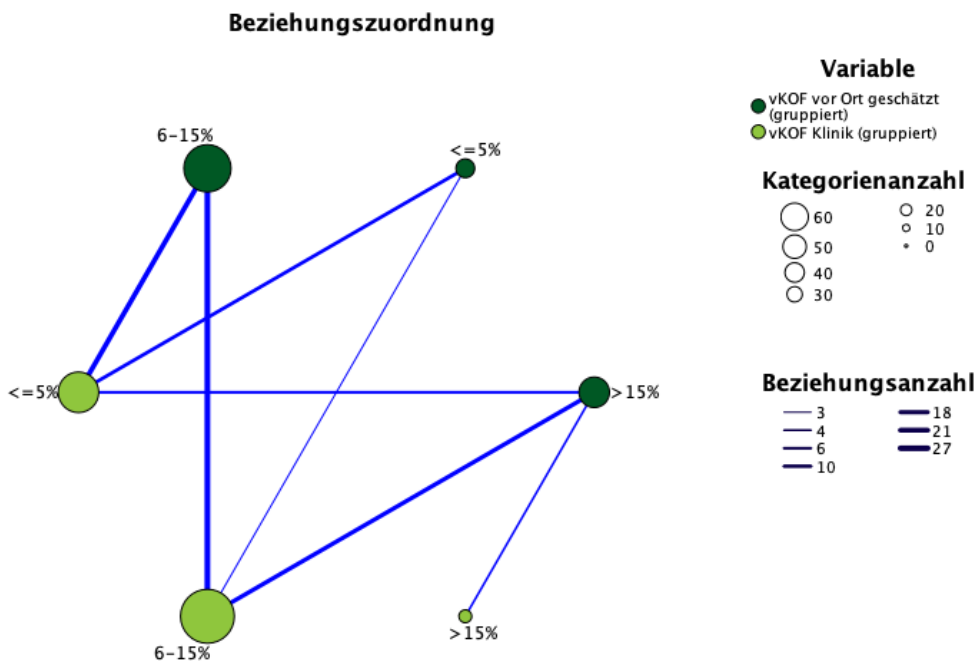


Abbildung 9: Die Beziehungszuordnung der Gruppierungen ≤ 5 %, 6 – 15 % und > 15 % vKOF am Unfallort und in der Klinik (n = 89).

Die Zahl der Kinder mit 6 – 15 % vKOF ist in der Klinik größer als deren Zahl vor Ort. Der Zuwachs kommt vorwiegend durch eine Neugruppierung von Fällen aus der Gruppe mit > 15 % vKOF vor Ort zustande; entsprechend war die Zahl der Kinder mit > 15 % vKOF in der Klinik geringer als vor Ort.

4.3 Schweregrad der Verletzung: Vergleich der prähospitalen Einschätzung zur Festlegung in der Klinik unter Berücksichtigung der Geschlechter

Der Schweregrad der Verletzung wurde vor Ort bei 34 Mädchen und 58 Jungen dokumentiert. Dabei wurde teilweise zwischen den Graden 2A und 2B differenziert und bis zu drei Verbrennungsgrade pro Fall angegeben. Abbildung 10 zeigt die Verteilung der detailliert angegebenen Verbrennungsgrade bei Mädchen und Jungen.

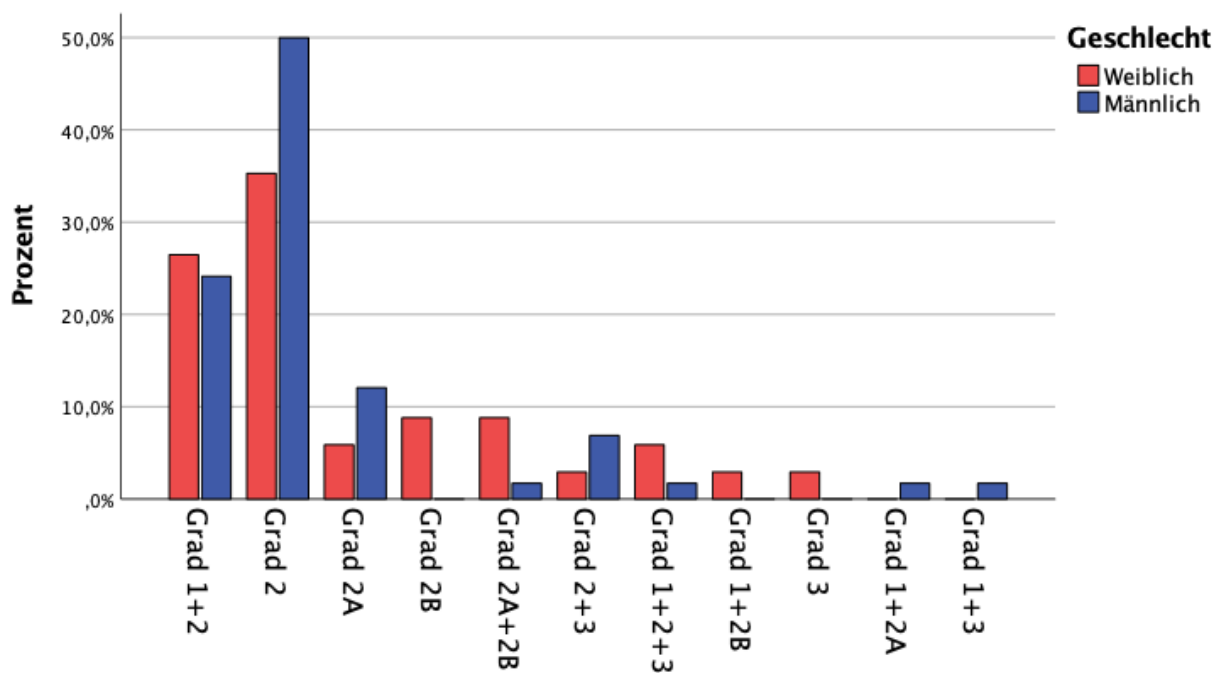


Abbildung 10: Prozentuale Häufigkeit der detailliert vor Ort angegebenen Verbrennungsgrade bei Mädchen (n = 34) und Jungen (n = 58).

Eine Neugruppierung der Verbrennungen vor Ort und in der Klinik, nur in Schweregrade 2 und 3 (s. 3.2.3 und Anhang 1) sowie die Differenzierung nach Geschlecht zeigt Tabelle 3.

Tabelle 3: Schweregrade der Verbrennungen bei allen Verletzten, bei Mädchen und bei Jungen. Einschätzung vor Ort und Festlegung in der Klinik.

Alle (n=92)	vor Ort		Klinik	
Schweregrad	Anzahl	%	Anzahl	%
2	82	89,1	88	86,3
3	10	10,9	14	13,7

Mädchen (n=34)	vor Ort		Klinik	
Schweregrad	Anzahl	%	Anzahl	%
2	30	88,2	36	94,7
3	4	11,8	2	5,3

Jungen (n=58)	vor Ort		Klinik	
Schweregrad	Anzahl	%	Anzahl	%
2	52	89,7	52	81,3
3	6	10,3	6	18,8

Die Häufigkeit des Schweregrads 3 bei Mädchen wurde vor Ort überschätzt (11,8 % vs. 5,3 % in der Klinik), während sie bei Jungen unterschätzt wurde (10,3 % vs. 18,8 % in der Klinik). Diese Fehleinschätzungen unterschieden sich zwischen beiden Geschlechtern nicht signifikant (Pearson- χ^2 -Quadrat = 3,628, $p = 0,163$).

Um das Maß der Übereinstimmung bei der Einschätzung des Schweregrads der Verbrennung zwischen Notärzten vor Ort und der Festlegung in der Klinik bewerten zu können, wurde Cohens κ berechnet [89].

Die Werte von κ , als Maß der Übereinstimmung, betragen für alle Fälle 0,192 ($p = 0,069$), für Mädchen 0,277 ($p = 0,084$) und für Jungen 0,158 ($p = 0,223$). Damit besteht keine signifikante Übereinstimmung in der Einschätzung des Schweregrades der Verbrennungen präklinisch, mit den Feststellungen über den Grad der Verbrennung in der Klinik.

4.4 Behandlung

4.4.1 Erstmaßnahmen

Maßnahmen durch Ersthelfer vor Ort wurden nur selten dokumentiert: in sieben Fällen (11,5 %) wurde die Verbrennung mit Wasser gekühlt, weitere fünfmal wurden sonstige Maßnahmen beschrieben (Kleidungsstücke entfernt, Salben), zehnmal war vermerkt, dass keinerlei Maßnahmen vorgenommen wurden, 89-mal gab es keine Angaben zu Ersthelfermaßnahmen im Protokoll.

4.4.2 Erstbehandlung

4.4.2.1 Gefäßzugang

Ein Zugang zum Gefäßsystem wurde bei den 104 Kindern 57-mal dokumentiert, davon 52-mal eine intravenöse Verweilkanüle und 5-mal ein intraossärer Zugang. In 31 Fällen wurde kein Zugang gelegt und 16-mal ist nicht dokumentiert, ob ein Zugang gelegt wurde.

Abbildung 11 zeigt, wie oft Gefäßzugänge bei den verschiedenen ausgedehnten vKOF gewählt wurden, bzw. wie oft darauf verzichtet wurde.

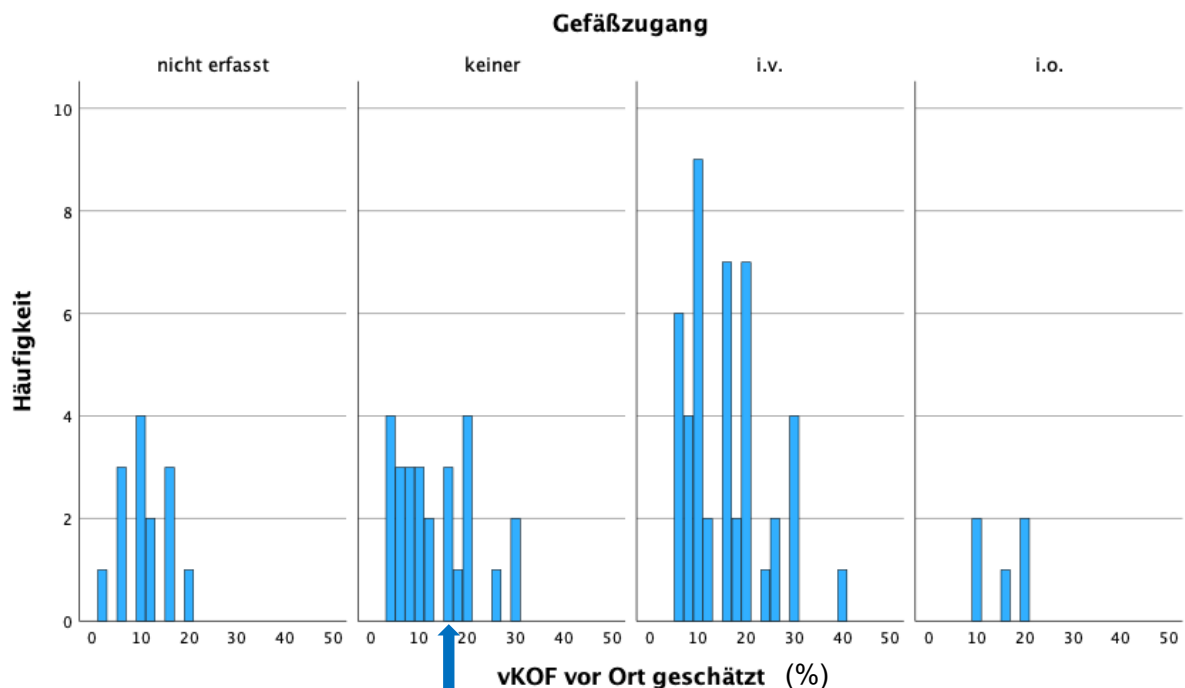


Abbildung 11: Häufigkeit von Gefäßzugängen bei verschiedenen ausgedehnten Verletzungen (% vKOF). Auch bei vKOF > 15 % (Pfeil) wurde in acht Fällen kein Gefäßzugang etabliert. i.v. = intravenös, i.o. = intraossär.

Tabelle 4 zeigt die Anzahl von Fällen mit i.v., i.o. bzw. ohne Gefäßzugang in Bezug zu den dazu gehörigen Gruppen vor Ort geschätzter vKOF. Die Wahl des Gefäßzugangs erfolgte

unabhängig von der Ausdehnung der vor Ort geschätzten vKOF (Pearson- χ -Quadrat 1,87, $p = 0,760$, Exakter Test nach Fisher 1,587, $p = 0,831$). Dies gilt auch, wenn man i.v. und i.o. als Zugänge zum Gefäßsystem zusammenfasst (χ -Quadrat 1,373, $p = 0,503$).

Tabelle 4: Kreuztabelle mit der Anzahl der gewählten Gefäßzugänge und den dazugehörigen, nach Ausdehnung gruppierten vKOF. i.v. = intravenös, i.o. = intraossär.

		Gefäßzugang			Gesamt
		keiner	i.v.	i.o.	
vKOF vor Ort geschätzt (gruppiert)	≤ 5%	5	5	0	10
	6 – 15%	13	23	3	39
	> 15%	8	17	2	27
Gesamt		26	45	5	76

4.4.2.2 Infusionsvolumen

Als Infusionslösungen am Unfallort kamen ausschließlich Vollelektrolytlösungen zum Einsatz. In 52 Fällen konnte die Menge der infundierten Lösung bezogen auf das Körpergewicht des Kindes in Kilogramm (ml/kgKG) ausgewertet werden. Der Median des infundierten Volumens betrug 11,8 ml/kgKG (Min. 0, Max. 55,6 ml/kgKG). Die 15 Mädchen erhielten im Median 20,8 ml/kgKG Infusionslösung (Min. 0, Max. 55,6 ml/kgKG), die 37 Jungen im Median 9,1 ml/kgKG (Min. 0, Max. 55,6 ml/kgKG).

Die präklinisch infundierten Volumina in den drei Gruppen mit vKOF ≤ 5 %, 6 – 15 % und > 15 % zeigt Abbildung 12.

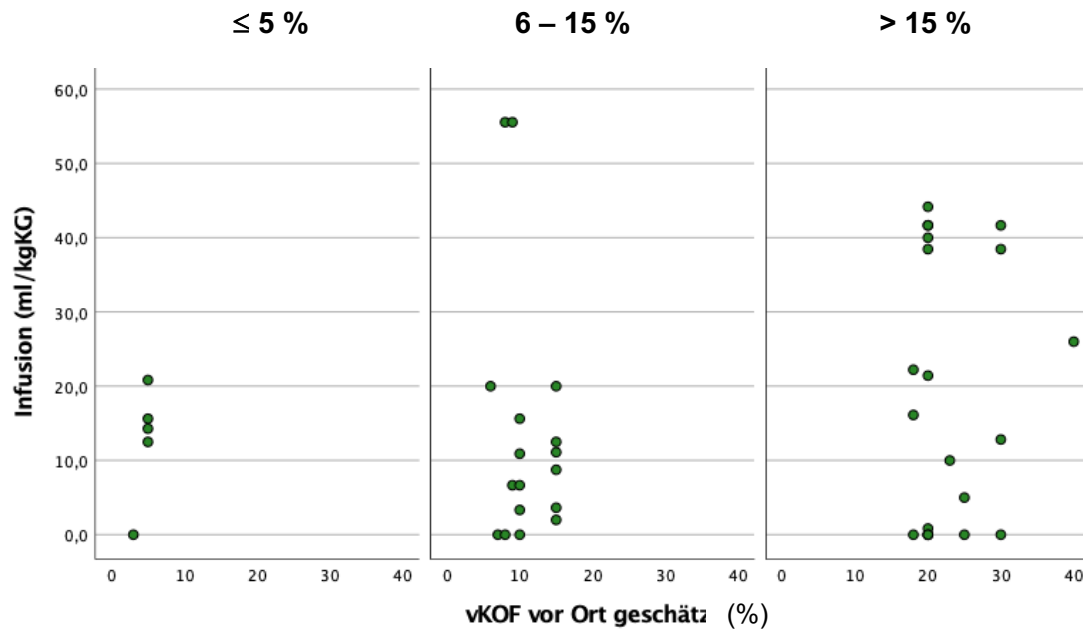


Abbildung 12: Infusionsvolumina (ml/kgKG) bei $\leq 5\%$, 6 – 15 % und $> 15\%$ vKOF.

Die Verteilung der Infusionsvolumina (in ml/kgKG) ist über die drei Kategorien der vKOF vor Ort ($\leq 5\%$, 6 – 15 %, $> 15\%$) identisch (Kruskal-Wallis-Test, $p = 0,685$), d.h. die Menge des infundierten Volumens orientierte sich nicht an der präklinisch geschätzten Ausdehnung der Verbrennung ($\leq 5\%$, 6 – 15 %, $> 15\%$, Abb. 12).

4.4.2.3 Temperaturmanagement

4.4.2.3.1 Kühlung

Eine Kühlung der Wunde wurde in vier Fällen (3,8 %) dokumentiert, zweimal war vermerkt, dass keine Kühlungsmaßnahmen vorgenommen wurden, in 98 Fällen war keine Dokumentation dazu auffindbar. Gekühlt wurde bei einem ein Jahr alten Mädchen mit 30 % vKOF und bei drei Mädchen (jeweils zwei Jahre alt) mit drei, vier bzw. 30 % vKOF. Maßnahmen zum Wärmeerhalt wurden in diesen vier Fällen nicht dokumentiert.

4.4.2.3.2 Wärmeerhalt

Maßnahmen zum Wärmeerhalt wurden 18-mal (17 %) getroffen (neun Mädchen, neun Jungen), zweimal war dokumentiert, dass darauf verzichtet wurde und 84-mal gab es dazu präklinisch keine Angaben.

4.4.2.4 Wundabdeckung

Die Wunde wurde in 30 Fällen (29 %) steril abgedeckt (zehn Mädchen, 20 Jungen), zweimal war vermerkt, dass die Verletzung nicht abgedeckt wurde und 72-mal fand sich dazu keine Dokumentation.

4.4.2.5 Sicherung der Sauerstoffversorgung

Die Sauerstoffsättigung des Blutes wurde mittels Pulsoximetrie bei 91 Kindern gemessen. Die Werte der SpO₂ lagen zwischen 93 % und 100 %. Spontan unter Raumluftbedingungen atmeten 83 Kinder, 14 erhielten bei Spontanatmung Sauerstoff über Nasen- oder Gesichtsmaske, vier wurden intubiert und beatmet. In drei Fällen waren die Art der Atmung oder eine Sauerstoffgabe nicht dokumentiert.

4.4.2.6 Analgosedierung

Zur Analgosedierung kamen verschieden Medikamente und zahlreiche Medikamentenkombinationen zum Einsatz. Abbildung 13 zeigt die verwendeten Medikamente, deren Kombinationen und die Häufigkeiten ihrer Verwendung.

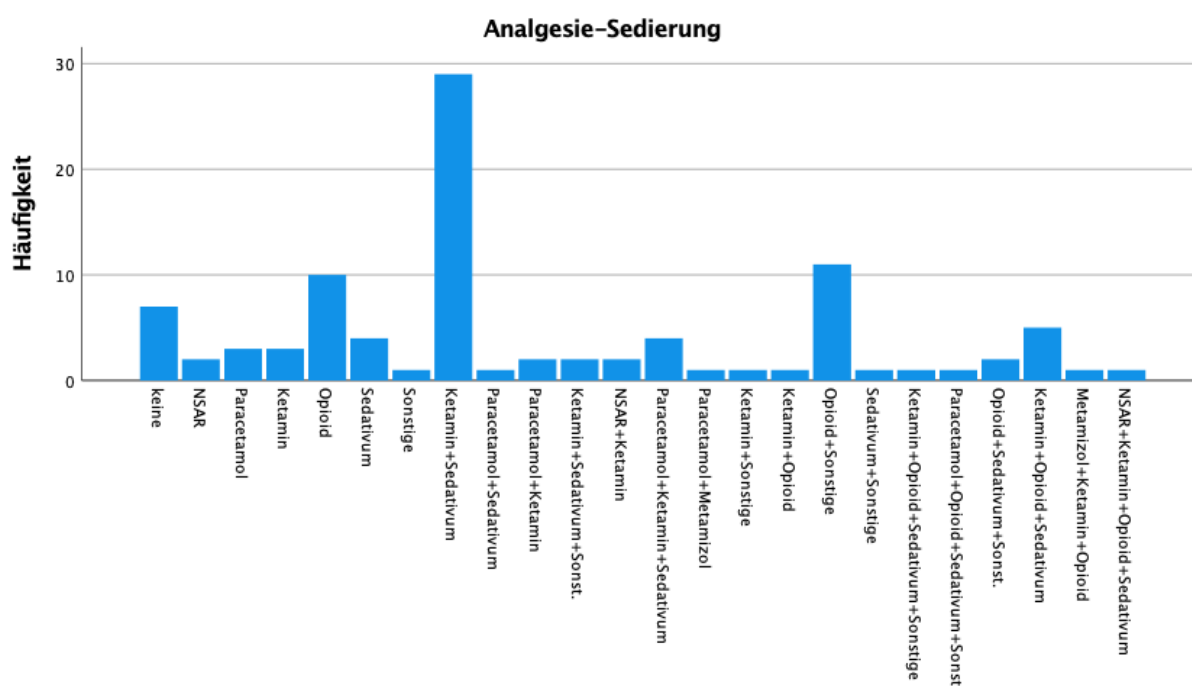


Abbildung 13: Häufigkeit der Verwendung von Analgetika, Sedativa und deren Kombinationen (n = 96).

Am häufigsten kam Ketamin in Kombination mit Midazolam zum Einsatz (30,2 %), gefolgt von der Kombination eines Opioids mit einer sonstigen Substanz (11,5 %, darunter u.a. Propofol, Dimenhydrinat) oder einer Monotherapie mit einem Opioid (10,4 %). In 7,3 % der Fälle wurde kein Medikament zur Analgosedierung gegeben, achtmal fanden sich keine Angaben zur Analgosedierung im Notarztprotokoll. Schwach wirksame „periphere“ Analgetika waren Metamizol (zweimal), Ibuprofen (fünfmal) und Paracetamol (zwölfmal). Ketamin, Opiode und Sedativa wurden auch nasal (42mal) oder rektal (zehnmal) appliziert, Ibuprofen zweimal oral. Analgetika/Sedativa und deren Kombinationen wurden zur weiteren Analyse in Analgosedierungsregimen zusammengefasst (s. 3.2.3 und Anhang 1, Abb. 14).

Ein Regime mit Ketamin wurde in 54,2 % der Fälle gewählt (vereinzelt auch in Kombination mit einem Opioid, s. Abb. 13), ein Regime mit Opioiden (als Einzelsubstanz oder in Kombination, aber ohne Ketamin) in 25,0 %, „peripher“ wirksame schwache Analgetika in 7,3 % und ausschließlich ein Sedativum in 6,3 % der Fälle.

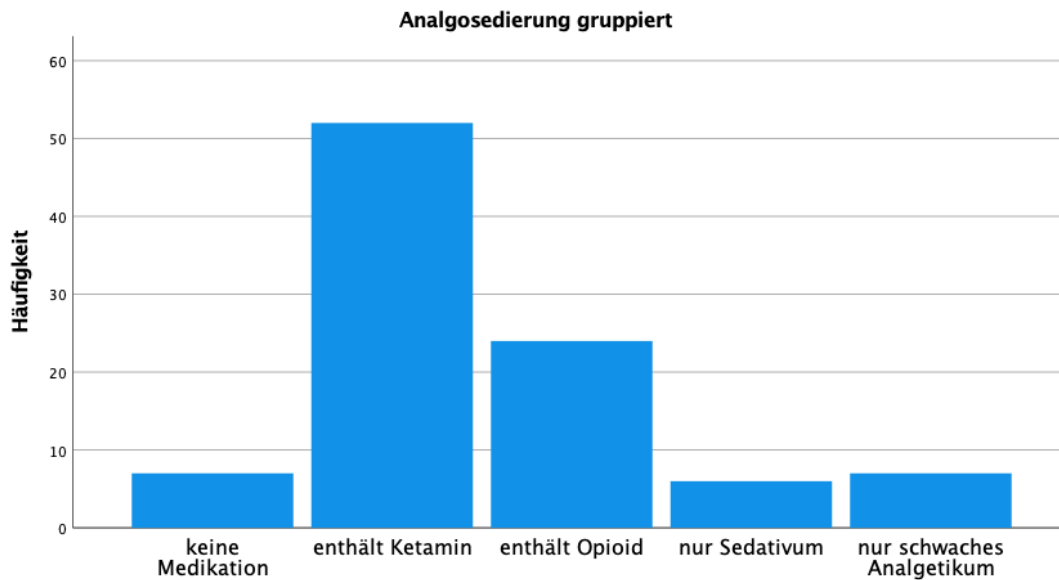


Abbildung 14: Häufigkeit der gewählten Regime zur Analgesedierung bei allen Kindern (n = 96, Einzelheiten s. Text).

Die Verteilung des Einsatzes der verschiedenen Analgesedierungsregime auf die beiden Geschlechter zeigt Abbildung 15.

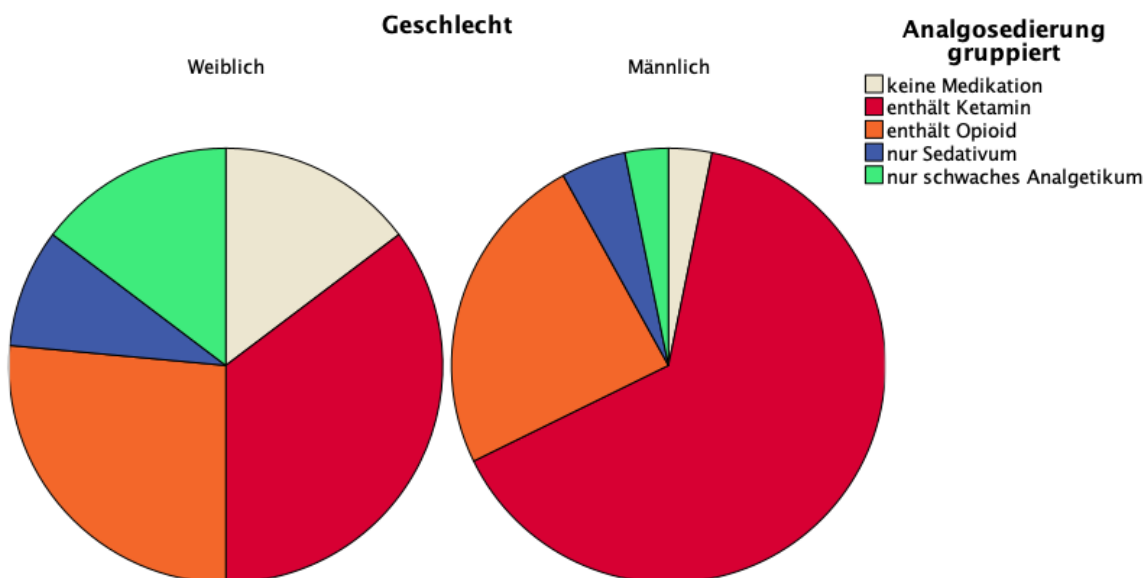


Abbildung 15: Verteilung der Analgesedierungsregime bei Mädchen (links) und Jungen (rechts). Einzelheiten s. Text.

Bei Mädchen kamen häufiger nur „periphere“ Analgetika (14,7 %), Sedativa (8,8 %) oder keine Medikation (14,7 %) zum Einsatz als bei Jungen (3,2 %, 4,8 % und 3,2 %). Bei Jungen wurde öfter Ketamin (64,5 %) verwendet als bei Mädchen (35,3 %). Ein Opioid-basiertes Regime wurde bei Mädchen (26,5 %) etwa gleich häufig wie bei Jungen (24,2 %) verwendet.

Tabelle 5 zeigt die Analgosedierungsregime in Bezug zu den Verbrennungsflächen. Bei vKOF > 15 % wurde dreimal keine Medikation und zweimal nur ein schwaches („peripheres“) Analgetikum gewählt. Ein Zusammenhang zwischen dem Analgosedierungsregime und der vKOF ist statistisch nicht nachweisbar (Pearson- χ^2 -Quadrat 7,311, $p = 0,518$; Exakter Test nach Fisher 7,806, $p = 0,403$).

Tabelle 5: Kreuztabelle mit Analgosedierungsregimen und den dazugehörigen, nach Ausdehnung gruppierten vKOF

		Analgosedierung (gruppiert)					Gesamt
		keine Medikation	enthält Ketamin	enthält Opioid	nur Sedativum	nur schwaches Analgetikum	
vKOF vor Ort geschätzt (gruppiert)	≤ 5 %	1	6	4	1	2	14
	6–15%	2	26	9	4	1	42
	> 15%	3	14	8	0	2	27
Gesamt		6	46	21	5	5	83

4.4.3 Transport

4.4.3.1 Transportmittel

Ein Rettungswagen wurde bei 63 Einsätzen, ein Rettungshubschrauber für 41 Kinder als Transportmittel in die Klinik genutzt. Die Zuweisung erfolgte 96-mal als Primär- und achtmal als Sekundärtransport.

Die Transportmittel in Beziehung zu den Gruppen der vKOF zeigt Tabelle 6. Auch Kinder mit ≤ 5 % vKOF wurden in neun Fällen mit dem Rettungshubschrauber transportiert.

Tabelle 6: Kreuztabelle mit Transportmitteln und den dazugehörigen, nach Ausdehnung gruppierten vKOF.

		Notarzt bodengebunden	Rettungshubschrauber	Gesamt
		vKOF vor Ort	≤ 5 %	5
	6 – 15 %	29	19	48
	> 15 %	18	10	28
Gesamt		52	38	90

Die Nutzung der Transportmittel erfolgte unabhängig vom Ausmaß der Verletzung (Pearson- χ -Quadrat 3,417, $p = 0,181$; Exakter Test nach Fisher 3,313, $p = 0,204$).

4.4.3.2 Alarmierungs- und Transportzeiten

Der Zeitpunkt der Alarmierung wurde in 64, das Eintreffen in der Klinik in 56 Fällen dokumentiert. Der früheste Notruf ging um 01:00 Uhr ein, der späteste um 22:28 Uhr. In 45 Fällen konnte die Zeit zwischen Alarmeingang und Ankunft in der Klinik berechnet werden (Mittelwert 1:03 h, Min. 0:23 h, Max. 2:06 h).

4.4.4 Behandlungsdauer

Die Kinder wurden zwischen 1 und 61 Tagen (Median 6, 25. Perzentile 5, 75. Perzentile 12 Tage) stationär behandelt, davon zwischen 0 und 57 Tagen auf der Intensivstation. Die stationäre Behandlung der Mädchen dauerte zwischen 1 und 19 (Median 5) Tage, die der Jungen zwischen 1 und 61 (Median 7) Tage ($p = 0,004$, Mann-Whitney-U-Test).

Zwischen der in der Klinik festgestellten verbrannten Körperoberfläche (vKOF %) und der Behandlungsdauer in Tagen besteht eine positive lineare Korrelation (Behandlungsdauer in Tagen = $0,03 + 1,22 \times \text{vKOF } \%$, $R^2 = 0,422$). Der Schweregrad der Verbrennung übt dabei keinen zusätzlichen Einfluss aus (Abb. 16).

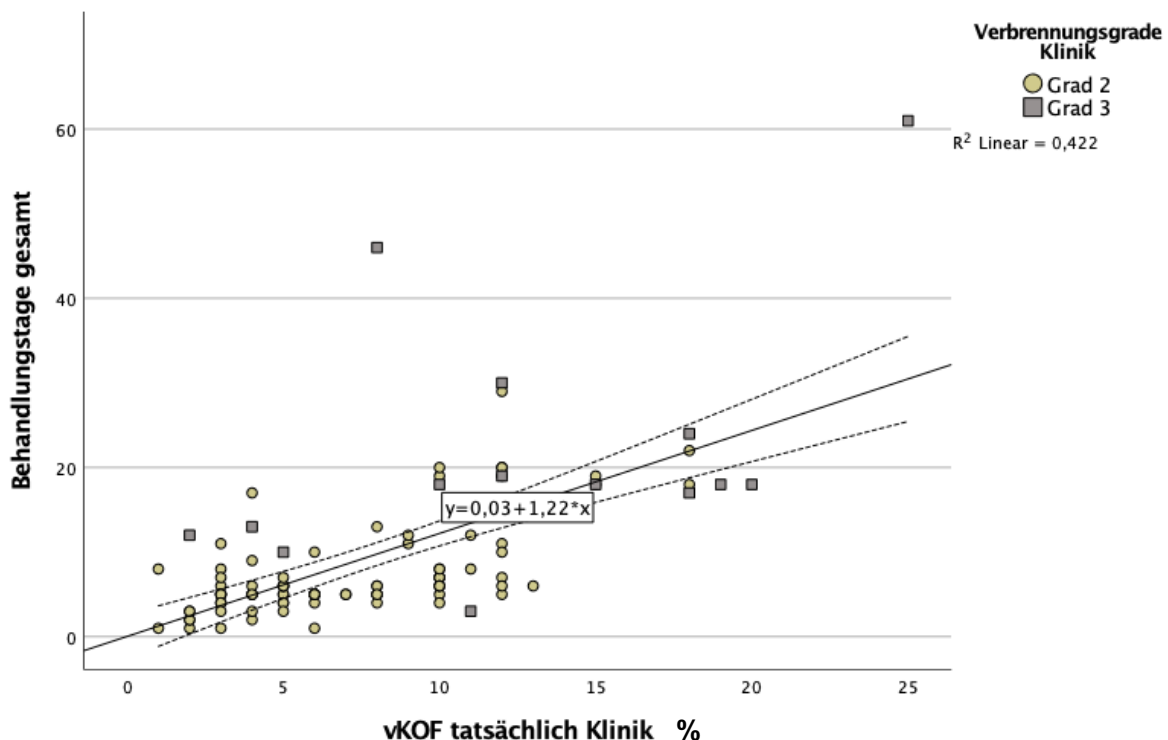


Abbildung 16: Scatter-Plot mit Regressionsgerade der verletzten Körperoberfläche (vKOF %, X-Achse) und der Behandlungsdauer in der Klinik in Tagen (Y-Achse). Kreise = Verletzungen Grad 2, Vierecke = Verletzungen Grad 3. Erklärung s. Text.

5 Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurde erstmals die Qualität der präklinischen Erstversorgung von Kindern mit Verbrennungen, differenziert nach Mädchen und Jungen, untersucht. Schwerpunkte lagen dabei auf der Einschätzung der verbrannten Körperoberfläche durch die Notärzte vor Ort im Vergleich zu der letztlich in der Klinik festgestellten Ausdehnung der Verbrennung, sowie auf der Flüssigkeitstherapie und der Schmerzbehandlung (Fragestellung s. 1.5.1 und 1.5.2).

5.1 Patientencharakteristika

5.1.1 Anzahl

Die 104 Kinder mit Verbrennungen, über die in dieser Arbeit berichtet wird, stellen nur einen Teil aller in den Jahren 2017 – 2021 in der Universitätskinderklinik wegen Verbrennungen behandelten Kinder dar. Da es Ziel der Arbeit war, die präklinische ärztliche Erstversorgung zu evaluieren, konnten nur Fälle mit Notarztdokumentation ausgewertet werden.

Vergleichbare Auswertungen umfassen ebenfalls nur einen Teil der insgesamt in einer Klinik behandelten Verbrennungsfälle: In der BG-Unfallklinik Ludwigshafen wurden in vier Jahren 440 Kinder mit Verbrennungen versorgt; Jester et al. berichten nur über die 80 Kinder, für die Notarztprotokolle vorhanden waren und die auf der Intensivstation behandelt wurden [18]. Lechleuthner et al. beschreiben die Verletzungsschwere und die präklinische Versorgung von 41 Kindern bis zum Alter von 14 Jahren durch das Notarztsystem im Großraum Köln innerhalb von drei Jahren. Die Häufigkeit von Verbrennungen lag mit 11 – 17 pro Jahr [19] etwas niedriger als in dieser Arbeit (Tab. 1).

Damit präsentiert die vorliegende Arbeit mit 104 Fällen die unseres Wissens größte Zahl an Kindern mit Verbrennungen im Vergleich mit deren präklinischer Versorgung aus Deutschland.

5.1.2 Geschlecht

Mit 66 Jungen und 38 Mädchen in dieser Arbeit, entspricht das Verhältnis der Geschlechter mit 1,7:1 ungefähr dem, was in der Mehrzahl der Publikationen aus Europa, den USA und Australien über kindliche Verbrennungen berichtet wird [5, 9, 14, 18, 19, 24-32] (s. 2.1).

5.1.3 Unfallumstände

Der weitaus größte Anteil der dokumentierten Unfälle ereignete sich zu Hause oder in der Freizeit (82,7 %), allerdings fehlten in jedem sechsten Notarztprotokoll Angaben über die Unfallumstände. Damit sind die Zahlen unserer Untersuchung über die Unfallumstände in weitgehender Übereinstimmung mit Publikationen aus den vergangenen zehn Jahren zu klinisch behandelten Verbrennungen bei Kindern im Alter von bis zu fünf Jahren [8, 27, 34, 35].

5.1.4 Altersverteilung

Die Arbeit umfasste alle notärztlich primärversorgten und stationär behandelten Kinder der Altersgruppe von null bis 17 Jahren einer Universitätsklinik. Die Kinder waren zum Unfallzeitpunkt zwischen fünf Tage und 14 Jahre alt, wobei sich der Altersmedian von Mädchen (18 Monate) und Jungen (17 Monate) nicht unterschied (s. 4.1.2, Abb. 3).

Vergleiche des Alters unserer Patienten mit den Angaben aus der Literatur sind wegen unterschiedlich definierter Altersklassen und Populationen problematisch (s. auch 2.3). Von unseren Patienten waren 82 % jünger als fünf Jahre alt, von den stationär von 2010 – 2019 wegen Verbrennungen in Deutschland Behandelten aus derselben Altersspanne (0 – 17 Jahre) waren 71 % jünger als fünf Jahre [44]. Damit dominiert in dieser Arbeit, in Übereinstimmung mit der neueren Literatur zu vergleichbaren Patientenkollektiven [8, 9, 27, 29, 34, 61, 92], die Altersgruppe der unter Fünfjährigen sowohl bei Mädchen als auch bei Jungen (s. 4.1.2, Abb. 3).

5.1.5 Ursachen der Verletzungen

Die Verbrennungen der Kinder in dieser Arbeit waren zu 90 % durch Verbrühen mit Flüssigkeiten verursacht (s. 4.1.3, Abb. 4). Der Anteil an Verbrühungen ist damit höher als in den Publikationen aus früheren Jahrzehnten [18, 19, 34]. Die Zahl der Verletzungen durch Flammeneinwirkung war mit sechs Fällen gering. Letzteres kann dadurch erklärt werden, dass in unserem Kollektiv keines der Mädchen älter als 14 und kein Junge älter als 11 Jahre alt war: Opfer von Flammeneinwirkung sind häufig Jugendliche [20, 27, 29].

5.1.6 Ausdehnung der Verletzung bei verschiedenen Ursachen

Verletzungen infolge von Flammeneinwirkung waren in dieser Arbeit selten ($n = 6$) (s. 4.1.4, Abb. 5). Die vKOF nach Flammeneinwirkung war im Median mit 15 % signifikant größer als nach Verletzungen durch Flüssigkeiten (Median 7 % vKOF).

Größere Verbrennungsflächen durch Flammen berichten auch andere Autoren [20, 46]. Gorman et al. [20] beschreiben die verletzte Fläche nach Flammeneinwirkung mehr als doppelt so groß wie die nach Verbrühungen (vKOF 6,7 %). Diese Befunde entsprechen den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit (s. 4.1.4, Abb. 5).

5.1.7 Lokalisation der Verletzungen

Die Verbrennungen in dieser Arbeit waren überwiegend an den Extremitäten (75 %) lokalisiert (s. 4.1.5), gefolgt von Verletzungen im Bereich des Rumpfes (67 %) und des Kopfes mit Gesicht (36,6 %). Verbrennungen des Gesichts waren bei Jungen (40,9 %) häufiger als bei Mädchen (13,2 %).

In manchen Studien dominieren Verletzungen am Kopf [18], in anderen am Rumpf [41], in wieder anderen an den Extremitäten [6, 27, 38].

Die Heterogenität der Häufigkeiten der Lokalisation kindlicher Verbrennungen sind am ehesten durch die unterschiedlichen untersuchten Populationen (Verbrennungsregister, Notaufnahmen, Intensivstation eines Verbrennungszentrums) zu erklären. Eine bei Jungen, im Vergleich zu Mädchen, dreifach häufigere Lokalisation von Verbrennungen im Gesicht, wie sie in dieser Arbeit gefunden wurde, ist bislang nicht beschrieben.

5.1.8 Vitalfunktionen

Herzfrequenz und Atemfrequenz wurden bei 87 % bzw. 61 % der Kinder gemessen, der Blutdruck war nur in einem Viertel der Fälle dokumentiert. Die gemessenen Werte deuten nicht auf gestörte Vitalfunktionen hin (s. 4.1.6, Tab. 2). Die Mehrzahl der in dieser Arbeit vorgestellten Kinder wies auch unter Raumlufatmung eine normale Sauerstoffsättigung des Blutes auf. Kritisch erniedrigte Werte der SpO₂ sind bei keinem der Kinder dokumentiert (s. 4.1.6, Tab. 2).

Störungen der Vitalfunktionen nach Verbrennungsunfällen sind oft die Folge von Begleitverletzungen [47], die bei den Kindern in dieser Arbeit nicht vorlagen. Oxygenierungsstörungen sind häufig Folge von Verbrennungen im Gesicht, eines Inhalationstraumas oder der Kombination aus beidem [5]. Obwohl vier der sechs Kinder, bei denen Flammen die Ursache der Verbrennungen waren, auch Verletzungen im Gesicht aufwiesen, fanden sich bei keinem dieser Kinder Anzeichen für ein Inhalationstrauma. Damit ist das Fehlen von Störungen der Vitalfunktionen wohl vor allem darauf zurückzuführen, dass 90 % der Kinder Verbrühungen erlitten hatten.

5.1.9 Bewusstsein

Der Median der GCS von 15 Punkten weist darauf hin, dass Bewusstseinsstörungen nur sehr selten waren (s. 4.1.7); die beiden mit GCS 3 dokumentierten Kinder waren narkotisiert. Bewusstseinsstörungen werden in den Publikationen zu Verbrennungsunfällen von Kindern nicht explizit erwähnt [14, 18, 19].

5.1.10 Schmerzen

Die Schmerzstärke wurde nur bei etwa der Hälfte der Kinder dokumentiert. Gemessen mit der NRS/VAS betrug sie bei beiden Geschlechtern im Median 6 – 7/10 (s. 4.1.8).

In Übersichtsarbeiten wird regelhaft darauf hingewiesen, dass Schmerzen nach kindlichen Verbrennungen häufig sind und deren Therapie von zentraler Bedeutung ist, aber es werden keine Arbeiten zitiert, die über die gemessene Stärke präklinischer Schmerzen berichten [5, 11, 14, 47, 54, 61, 65, 74, 93-96]. Hoffmann und Deanovic konzedieren, dass es in der präklinischen Notfallsituation nicht praktikabel erscheint Schmerz-Scores zu erheben [55]. Selbst im stationären Bereich ist die Erfassung der Schmerzen von Kindern mit Verbrennungen schwierig und Publikationen über die Ausprägung der Schmerzen dieser Kinder sind rar [16]. In der

LL wird eine Messung der Schmerzstärke bei Kindern nicht erwähnt [10]. Die vorliegende Arbeit berichtet damit erstmals über die präklinische Stärke von Schmerzen bei 50 Kindern mit Verbrennungen (s. 4.1.8).

5.1.11 Körpertemperatur

Die Körpertemperatur der Kinder am Unfallort wurde nach den Ergebnissen dieser Arbeit nur bei 27 % der Kinder gemessen (s. 4.1.9). Nur bei vier Kindern wurde präklinisch eine leichte Hypothermie ($< 36\text{ °C}$) [97] festgestellt. Bei Klinikaufnahme wurde bei 83 % der Kinder die Temperatur gemessen, zweimal lag eine leichte Hypothermie vor.

Insbesondere narkotisierte Verbrennungspatienten sind bei Klinikaufnahme oft hypotherm [57]. Bei den vier Kindern in dieser Arbeit, die narkotisiert in der Klinik aufgenommen wurden, war dies nicht der Fall: die Temperaturen betragen $36,3 - 38,4\text{ °C}$.

Obwohl also nur in 17 % der Fälle Maßnahmen zum Wärmeerhalt dokumentiert sind (s. 4.4.2.3.2), waren bei Klinikaufnahme lediglich zwei Kinder leicht hypotherm. Berücksichtigt werden muss dabei, dass bei 18 Kindern keine Temperatur bei Klinikaufnahme dokumentiert wurde. Die Dokumentation der Körpertemperatur bei Klinikaufnahme gehört laut Hüging und Rothe [11] zu den von der Deutschen Gesellschaft für Verbrennungsmedizin in ihren LL 2021 [45] definierten Qualitätskriterien.

5.2 Ausdehnung der Verbrennung

Die verbrannte Fläche wurde bei allen Kindern durchschnittlich um 6,35 % KOF größer eingeschätzt als die tatsächliche Verbrennungsfläche in der Klinik bewertet wurde. Unterschiede von 5 % vKOF und mehr gelten als klinisch relevant [84, 85]. Insbesondere bei großflächigen Verbrennungen ($> 15\text{ % vKOF}$) waren Fehleinschätzungen häufiger (s. 4.2, Abb. 6). Die Überschätzung der vKOF galt für Mädchen ($+7,91\text{ % vKOF}$) und Jungen ($+5,47\text{ % vKOF}$) in vergleichbarem Maß (s. 4.2, Abb. 7). Bei dem Vergleich einzelner Wertepaare der vKOF vor Ort mit der vKOF in der Klinik durch Berechnung des Intraklassen-Korrelationskoeffizienten, wurde nur eine schlechte Übereinstimmung zwischen den Einschätzungen zu verschiedenen Zeiten der Behandlung gefunden (s. 4.2, S. 25)

Die Einteilung in leichte ($\leq 5\text{ % vKOF}$), mittelschwere ($6 - 15\text{ % vKOF}$) und schwere Verbrennungen ($> 15\text{ % vKOF}$) ergab, dass auch bei dieser groben Einteilung oft ein Wechsel der Eingruppierung nach der endgültigen Festlegung der vKOF vorgenommen wurde (s. 4.2, Abb. 9). Während die Mehrzahl der Fälle, die vor Ort mit $6 - 15\text{ % vKOF}$ eingeschätzt wurden, in der Klinik in dieser Gruppe verblieben, wurden einige aus der Gruppe $> 15\text{ % vKOF}$ präklinisch nach der endgültigen Festlegung in der Klinik mit $\leq 5\text{ % vKOF}$ klassifiziert. Nur sieben Fälle verbleiben nach klinischer Festlegung in der Gruppe mit $> 15\text{ % vKOF}$ (s. 4.2, Abb. 9).

Dieses Ergebnis deckt sich mit Befunden früherer Untersuchungen, die alle eine Überschätzung der vKOF bei der Erstbeurteilung, verglichen mit der Klassifizierung der vKOF in einem Verbrennungszentrum, feststellten [20, 22, 39, 60-64].

In einer Studie wurde diese Diskrepanz besonders bei ausgedehnteren vKOF (> 10 %) gefunden [62], was mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit übereinstimmt.

In der Klinik wurden in der vorliegenden Arbeit, der LL entsprechend, bei kleineren Verbrennungen die Handflächen-Regel, bei größeren das Schema nach Lund und Browder verwendet [84, 85]. Welche Regeln oder Schemata die Notärzte zur Bestimmung der vKOF anwendeten, ist den Protokollen nicht zu entnehmen. Manche Protokollvordrucke, die im Rahmen dieser Arbeit ausgewertet wurden, sehen Verbrennung ausdrücklich als Unfallursache vor und enthalten Felder für die Dokumentation von % vKOF und Schweregrad, bei anderen Protokollen fehlt diese Verletzungsart gänzlich.

Die besonders bei Kindern häufige Fehleinschätzung der vKOF [20, 98] wird als problematisch angesehen [39, 59, 60, 63, 64, 99], da das Ausmaß der Verbrennung u.a. über die Verlegung in ein Verbrennungszentrum entscheidet.

Die Situation in Deutschland ist insofern eine besondere, da die S2k-Leitlinie „Behandlung thermischer Verletzungen im Kindesalter“ aus dem Jahr 2015 empfiehlt: „Die stationäre Behandlung brandverletzter Kinder sollte Spezialisierten Kliniken für Brandverletzte Kinder oder Zentren für schwerbrandverletzte Kinder vorbehalten werden“ und weiter, „Bei thermisch verletzten Kindern, die keine Zentrumsindikationen haben, sollte die Vorstellung in einer Spezialisierten Klinik für Brandverletzte Kinder erfolgen“ [10]. Folgt man den Empfehlungen dieser LL, müssten alle Kinder mit (auch kleinen) Verbrennungen, in einer spezialisierten Klinik vorgestellt werden.

Die Tatsache, dass in dieser Arbeit auch 14 Kinder mit einer präklinisch geschätzten vKOF $\leq 5\%$ in das Verbrennungszentrum der Kinderklinik Mainz eingewiesen wurden, weist darauf hin, dass diese Empfehlung der LL berücksichtigt wurde. Nach klinischer Beurteilung wiesen sogar 40 (38,5 %) der stationär behandelten Kinder Verbrennungen von $\leq 5\%$ der KOF auf. Ob neben den in der vorliegenden Arbeit analysierten Fällen, weitere Kinder mit Verbrennungen aus der Region ambulant oder andernorts stationär behandelt wurden, ist nicht bekannt. Laut einer prospektiven Datenerhebung an 32 deutschen und österreichischen Kliniken wurden 82,5 % der Kinder in Verbrennungszentren behandelt [9].

Zahlreiche Gründe kommen für die Fehleinschätzung der vKOF bei der Erstbeurteilung, insbesondere bei Kindern, in Frage. Manche Autoren vermuten Unerfahrenheit der an der Erstversorgung Beteiligten als Grund für Fehleinschätzungen [62, 65]. Daher werden intensivere Schulungen [60, 62, 100], der Einsatz geeigneter Software auf Smartphones zur

Bestimmung der vKOF [59, 71] oder die telemedizinische Befundübertragung [20, 64] gefordert.

Nach einer Kalkulation von Adams und Vogt liegt die Wahrscheinlichkeit, bei einem Notarzteinsatz auf einen Schwerbrandverletzten zu treffen, bei unter 1 ‰ [47]. Nur etwa 5 % aller Notarzteinsätze betreffen Kinder und nur die wenigsten finden bei Brandverletzten statt [13, 19, 74]. Laut Landsleitner und Keil könnte die Kombination dieser seltenen Einsatzbilder die möglicherweise bestehenden Unsicherheiten bei der Versorgung verstärken [74]. Im Vordergrund bei der Erstversorgung vor Ort stehen ohnehin die Sicherung der Vitalfunktionen, die Etablierung eines Venenzugangs und die Schmerztherapie, weniger die präzise Einschätzung der Ausdehnung der vKOF.

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass in einer neueren Arbeit aus der Universitätsklinik Uppsala, Schweden, auch zwischen der Ersteinschätzung durch erfahrene Verbrennungsspezialisten zum Zeitpunkt der Klinikaufnahme und dem endgültigen Befund eine Diskrepanz mit vorwiegender Überschätzung der vKOF, vor allem bei Kindern, gefunden wurde [60]. Holm et al. fanden dabei keinen klaren Unterschied in der Fehleinschätzung der vKOF bei beiden Geschlechtern [60]. Dieser Befund deckt sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit beim Vergleich der vKOF durch Notärzte und Klinik.

Bei Erwachsenen fanden Yo et al. eine gute Übereinstimmung der Einschätzung der vKOF durch Ärzte der Notaufnahme einer Klinik in San Antonio, Texas, USA, mit der in der angeschlossenen Verbrennungsklinik festgestellten vKOF [100]. Diese exzellente Übereinstimmung (ICC zwischen den Schätzungen 0,996) erklären die Autoren mit der hohen Fallzahl ihrer Klinik, der engen Zusammenarbeit und dem regelmäßigen Personalaustausch zwischen Notaufnahme und der Abteilung für Brandverletzte. Diese Bedingungen sind an der Schnittstelle zwischen Notarztsystem und Verbrennungseinheiten in deutschen Kliniken nicht gegeben, wodurch sich u.a. der schlechte ICC von 0,223 in der vorliegenden Arbeit erklärt.

Hahn et al. [101] berichten von einer „statistisch signifikanten Korrelation“ zwischen der Einschätzung durch Mitarbeiter der Notaufnahme und der Festlegung der vKOF durch Spezialisten bei 106 Kindern mit retrospektiv auswertbaren Verbrennungsfällen. Allerdings sagt das von den Autoren [101] errechnete Korrelationsmaß Kendalls τ (0,645) nur etwas darüber aus, ob die Daten der vKOF der beiden Beurteiler in gleicher Rangfolge vorlagen, nicht aber wie gut die Einschätzung der Flächen übereinstimmte. Eine Analyse mittels Bland-Altman-Plot nahmen diese Autoren nicht vor.

Goverman et al. verglichen die vKOF von 50 Kindern eines Verbrennungszentrums in Boston, USA, mit der von den zuweisenden Kliniken angegebenen vKOF. In 94 % der Fälle wurde die vKOF überschätzt, statistisch signifikant war dies bei den 35 Verbrühungen der Fall [20].

Manning Ryan et al. fanden, dass bei 59 Kindern, die mit dokumentierter vKOF ihrem Verbrennungszentrum von anderen Institutionen zuverlegt wurden, die vKOF durchschnittlich um > 5 % von der tatsächlichen vKOF abwichen [85].

Da auch die Beurteilung des Personals zuweisender Kliniken und Notaufnahmen nicht mit den endgültigen Festlegungen der vKOF übereinstimmen, sind unter Umständen nicht nur die unübersichtliche präklinische Situation oder die Unerfahrenheit der Erstversorgenden im Umgang mit Kindern für die Fehleinschätzung der vKOF verantwortlich.

5.2.1 Methoden zur Bestimmung der Flächenausdehnung der Verbrennung

Die unterschiedlichen und teilweise verwirrenden [47, 62, 65, 68, 69, 73] Angaben in der Literatur, über die Regeln zur Bestimmung der vKOF bei Kindern und Erwachsenen [5, 6, 8, 13, 15, 54, 62, 65, 74, 75] (s. 2.8.2), können zu der Fehleinschätzung vor Ort und der schlechten Übereinstimmung mit der abschließend festgestellten vKOF in der vorliegenden Arbeit beigetragen haben. Im Vergleich zum Goldstandard [12] überschätzt die bekannte und zur Einschätzung bei Erwachsenen etablierte 9er-Regel die vKOF [66]. Möglicherweise ist die Anwendung der einfachen 9er-Regel bei den Kindern dieser Arbeit einer der Gründe für die Überschätzung der vKOF vor Ort.

Ein weiterer Grund für die Divergenz der Angaben über die vKOF könnte die unterschiedliche Bewertung der erstgradigen Verbrennungen sein [62, 102]. In den Notarztprotokollen wurde 26-mal als Verbrennungsgrad „1, 2“ oder „1 – 2“ angegeben. Dagegen fanden sich in den ärztlichen Abschlussberichten keine Angaben über Verbrennungen Grad 1. Dieses Vorgehen entspricht der Empfehlung Verbrennungsflächen 1. Grades grundsätzlich nicht in die Berechnung der vKOF einzubeziehen [66, 76, 93].

Der Aspekt einer Verbrennung verändert sich in den ersten Tagen nach dem Unfall. Rötung und Schwellung einer Verbrennung 1. Grades könnte am Ende der Behandlung nicht mehr sichtbar sein oder der Befund wird im Abschlussbericht der Klinik nicht erwähnt. Die gelegentlich als Grund für die Fehleinschätzung angeführte Rußverschmutzung [65] hat in dieser Arbeit, wegen der nur sechs Verbrennungen durch Flammen, allenfalls eine geringe Rolle gespielt.

Ohnehin mag eine präklinische Fehleinschätzung der vKOF in Ländern wie Kanada oder Australien, mit geringer Dichte an spezialisierten Zentren, langen Transportwegen und damit der Notwendigkeit der Triage bereits beim Transport, von Bedeutung sein [62-64]. Wie die vorliegende Arbeit zeigt, werden in Deutschland auch Kinder mit wenig ausgedehnten Verbrennungen in einem Verbrennungszentrum versorgt, so dass das Ausmaß der Verbrennung, zumindest für die Auswahl der geeigneten Klinik, keine entscheidende Rolle spielt.

5.3 Schweregrad der Verletzung

In 88 % der Fälle wurden von den Notärzten die Schweregrade der Verbrennungen, teilweise sehr differenziert, dokumentiert (s. 4.3, Abb. 10). Obwohl eine alleinige Verbrennung Grad 1 nicht beschrieben ist, wurden doch Kombinationen anderer Schweregrade mit Grad 1 angegeben (Grad 1 und 2, Grad 1, 2 und 3). Damit stellt sich die Frage, ob bei der Einschätzung der vKOF vor Ort in allen Fällen die Fläche mit der Verbrennung 1. Grades, wie empfohlen [66, 93], unberücksichtigt blieb.

Auffallend ist die Überschätzung des Schweregrades 3 vor Ort bei Mädchen und die Unterschätzung dieses Schweregrades bei Jungen, wobei diese Fehleinschätzungen beim Schweregrad statistisch nicht signifikant sind (s. 4.3, Tab. 3).

Eine sichere Beurteilung der Tiefe der Verletzung ist gerade bei Verbrühungen oft erst nach mehreren Tagen möglich [5]. Insofern ist bei über 90 % Verbrühungen als Verletzungsursache, die in dieser Arbeit gefundene schlechte Übereinstimmung bei der Einschätzung des Schweregrades vor Ort, im Vergleich zur endgültigen Festlegung in der Klinik, nicht überraschend (s. 4.3, Tab. 3).

5.4 Behandlung

5.4.1 Erstmaßnahmen

Die verfügbare Dokumentation von Maßnahmen durch Ersthelfer, zumeist handelte es dabei um Eltern, ist unbefriedigend: in 89 Fällen fehlten Angaben dazu im Protokoll, zehnmal wurden keine Erstmaßnahmen ergriffen. Nur siebenmal (6,7 %) ist gesichert eine Kühlung mit Wasser durch Ersthelfer dokumentiert.

Weniger als ein Drittel der befragten Eltern von Kindern, die mit Verbrennungen in einer Klinik in Cardiff, UK, behandelt wurden, hatten adäquate Kenntnisse über Erste-Hilfe-Maßnahmen bei Verbrennungen [103]. Immerhin fanden Rawlins et al. im Rahmen einer prospektiven Beobachtungsstudie in Großbritannien, dass bei 208 Kindern mit Verbrennungen in einem Drittel der Fälle Erste-Hilfe-Maßnahmen stattgefunden hatten, bei der Hälfte war mit Wasser gekühlt worden [38].

Die Auswertung eines Registers kindlicher Verbrennungsunfälle der Jahre 2009 – 2010 aus Australien und Neuseeland ergab, dass bei 89 % der Kinder als Erstmaßnahme von Laien gekühlt wurde [42].

Ob Apelle von Selbsthilfegruppen und Rettungsdienstorganisationen zur sofortigen Kühlung von Verbrennungsverletzungen auch zu entsprechendem Handeln bei den Ersthelfern führen, ist in Deutschland nicht systematisch untersucht. Die Ergebnisse dieser Arbeit geben Anlass daran zu zweifeln.

5.4.2 Erstbehandlung

5.4.2.1 Gefäßzugang

Ob bei Kindern prähospital ein Gefäßzugang gelegt werden soll, ist grundsätzlich abhängig von der Schwere der Verbrennung. Die LL empfiehlt nur bei $< 10\%$ vKOF auf das Legen eines Zugangs zu verzichten, „falls dies nicht sofort gelingt und das nächste Krankenhaus innerhalb von 30 Minuten erreicht werden kann“ [10]. Nur bei zehn der 31 Kinder dieser Arbeit, bei denen kein Zugang zum Gefäßsystem gelegt wurde, ist eine vKOF vor Ort mit $< 10\%$ dokumentiert.

Das präklinische Legen eines Venenzugangs bei Kindern kann, insbesondere nach Verbrennungen, problematisch sein. Bei den Kindern aus dieser Arbeit wurde 57-mal ein Zugang zum Gefäßsystem gelegt; 16-mal ist nicht erfasst, ob ein Venenzugang gesucht wurde und 31-mal war dokumentiert, dass kein Zugang gelegt wurde (s. 4.4.2.1).

Über die Gründe für dieses Vorgehen geben die Protokolle keine Auskunft. Es kann nur spekuliert werden, ob bei einer vKOF $< 10\%$ bewusst auf einen Venenzugang verzichtet wurde. Angesichts von 40 Kindern mit $\leq 5\%$ vKOF in der Klinik wäre ein solches Vorgehen naheliegend und den Empfehlungen entsprechend. Allerdings blieben auch acht Kinder mit einer vor Ort geschätzten vKOF $> 15\%$ ohne Venenzugang.

5.4.2.2 Infusionsvolumen

Bei den Kindern dieser Arbeit kamen ausschließlich Vollelektrolytlösungen zum Einsatz. Das Infusionsvolumen der 52 Kinder, die ausgewertet werden konnten, lag im Median bei 11,8 ml/kgKG und damit über der empfohlenen Höchstmenge von 10 ml/kgKG pro Stunde [10].

Zwar konnte nur in 45 Fällen die Zeit zwischen Alarmeingang und Ankunft in der Klinik berechnet werden, aber der Mittelwert dieser Zeitdauer von ca. einer und das Maximum von ca. zwei Stunden (die Zeiten zwischen Infusionsbeginn und Übergabe in der Klinik waren noch kürzer) zeigen, dass die Kinder präklinisch teilweise massiv überinfundiert wurden. Dies galt insbesondere für Mädchen mit einem Infusionsvolumen von im Median 20,6 ml/kgKG und einem Maximalwert von 55,6 ml/kgKG. Beunruhigend ist die Tatsache, dass die Flüssigkeitszufuhr sich nicht an der vor Ort festgestellten vKOF orientierte (s. 4.4.2.2, Abb. 12).

Die übermäßige präklinische Flüssigkeitsgabe nach Verbrennungen wird oft als Folge der Überschätzung der vKOF gedeutet [20-22]. Aus der Sicht von Goverman et al. war bei 86 % der analysierten 50 kindlichen Verbrennungsfällen (mittlere vKOF 2,5 %, Min. 0,25 %, Max. 55 %) keine Flüssigkeitstherapie erforderlich, bei 59 % der Kinder wurde in der erstversorgenden Institution zu viel Flüssigkeit gegeben; Mädchen und Jungen waren davon gleichermaßen betroffen [20].

Möglicherweise resultiert die übermäßige Volumenzufuhr aus der Überlegung, dass die Auswirkungen der Verbrennungskrankheit mit kapillarem Leck, Ödembildung und intravasalem Volumenmangel kompensiert werden müssten. Der Hinweis in LL und Fortbildungsartikeln auf die drohende Gefahr eines Volumenmangelschocks bei Kindern, bereits ab 5 – 10 % vKOF, mag dazu beitragen [47, 54].

Diese Sorge ist in der kurzen Phase der präklinischen Versorgung, wie sie in dieser Arbeit gefunden wurde, meist unbegründet: der hypovoläme Verbrennungsschock entwickelt sich bei Verbrennungen > 10 % vKOF erst protrahiert nach ein bis zwei Stunden und die Ödembildung erreicht ihr Maximum nach etwa acht bis zwölf Stunden [47, 54, 96, 104, 105].

Nach Adams und Vogt ist daher grundsätzlich keine vorausseilende Flüssigkeitstherapie erforderlich, vielmehr weist ein schon präklinisch bestehender Schock auf eine schwere Begleitverletzung hin [47]. Begleitverletzungen, die für einen Schock verantwortlich gemacht werden hätten können, wurden bei den Kindern in dieser Arbeit nicht dokumentiert. Auch die - wenn auch nur lückenhaft - dokumentierten Vitalparameter weisen nicht auf eine Schock-symptomatik hin (s. 4.1.6, Tab. 2).

Die bekannten Formeln zur initialen Volumentherapie nach Verbrennungen wurden nicht für die präklinische Erstversorgung entwickelt [106]. Die wohl bekannteste Empfehlung zur Flüssigkeitstherapie nach Verbrennungen, die sog. Parkland-Formel nach Baxter und Shires [107] mit $3,5 \text{ ml} \times \text{kgKG} \times \% \text{ vKOF}/24 \text{ h}$ wird in der Sekundärliteratur meist mit einem Wert von 4 ml/kgKG angegeben [108]. Sie beschreibt den Bedarf an Elektrolytlösung in den ersten 24 Stunden, wobei die Hälfte der errechneten Menge in den ersten acht Stunden nach dem Trauma gegeben werden soll.

Ob die 1968 publizierte Parkland-Formel auch heute noch zur Berechnung der initialen Flüssigkeitstherapie geeignet ist, wird zunehmend bezweifelt [49, 106, 109]. Womöglich veranlasste die verbreitete Kenntnis dieser Formeln eine zu großzügige präklinische Volumentherapie, wie sie auch in dieser Arbeit gefunden wurde.

Eine restriktivere Volumentherapie ($2 \text{ ml} \times \text{kgKG} \times \% \text{ vKOF}/24 \text{ h}$) ergibt sich bei der Berechnung des Bedarfs an kristalloiden Lösungen nach der modifizierten Brooke-Formel [108] oder dem Bedarf an Kristalloiden und Kolloiden nach der Formel von Evans et al. [110].

Auch die innerklinische Volumentherapie in den ersten 24 Stunden wies beim Vergleich der Praxis von fünf Verbrennungszentren in den USA erhebliche Unterschiede auf, obwohl sich alle an den Empfehlungen der Parkland-Formel orientierten [111]. Bei einer Analyse von 48 Studien (3.196 Patienten) aus den Jahren 1980 – 2015, in denen die infundierten Volumina an Elektrolytlösungen in den ersten 24 Stunden nach Verbrennung berichtet wurden, fanden auch Shah et al. [112] eine erhebliche Variabilität und eine durchschnittlich infundierte Menge von

5,2 ±1,1 ml/kg/%vKOF und damit mehr als nach der Parkland-Formel empfohlen. Unterschiede in der Infusionspraxis bei Kindern oder Erwachsenen wurden dabei nicht gefunden.

Auffallend bei den vorliegenden Ergebnissen ist, dass in den Notarztprotokollen für Infusionen 17-mal genau 500 ml als Menge dokumentiert wurde (Daten nicht gezeigt). Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass mit dieser Angabe der Inhalt der verwendeten Infusionsflasche und nicht das tatsächlich präklinisch infundierte Volumen gemeint war.

In der vorliegenden Arbeit wurde nicht untersucht, ob die präklinische Überinfusion den Kindern geschadet hat. Jester et al. schildern zum Zeitpunkt der Aufnahme auf die Intensivstation Flüssigkeitsmengen, die im Mittel ein Drittel über dem nach der Parkland-Formel berechneten Bedarf lagen, in Einzelfällen auch eine erhebliche Überinfusion, die zu Lungenödem führte [18]. Sie interpretieren dies als Folge der präklinischen Überschätzung der vKOF ihrer Patienten.

Sadideen et al. [113] berichten über 46 Kinder (mittleres Alter 3,9 Jahre), die in einem Verbrennungszentrum in Birmingham, UK, behandelt wurden. Bei 70 % war die vKOF von den Erstbehandelnden überschätzt worden, 11 % der Kinder (bei allen war die vKOF überschätzt worden) hatten mehr, und 75 % weniger Flüssigkeit erhalten als erforderlich. Keines der Kinder wies dadurch in der Klinik Anzeichen für Komplikationen auf. Dennoch weisen auch diese Autoren [113], wie viele andere [13, 20, 59-62, 64, 65, 85, 99], auf die Wichtigkeit der korrekten Einschätzung der vKOF hin.

5.4.2.3 Temperaturmanagement

5.4.2.3.1 Kühlung

Fortgesetzte Kühlungsmaßnahmen durch das Notarztteam wurden nur bei vier Mädchen durchgeführt (s. 4.4.2.3.1), zwei davon im Alter von zwei Jahren mit jeweils geschätzt 30 % vKOF. Laut LL sollte eine lokale Kühlung nur bis zum Eintreffen des Notarztes vorgenommen und bei Verbrennungen > 15% vKOF, bei Kleinkindern, Säuglingen und Neugeborenen auf die Kühlung verzichtet werden [10]. Folgt man der LL, war die Kühlung bei diesen Kindern nicht indiziert.

Die früher relativ uneingeschränkte Empfehlung zur Kühlung wird nach Hüging und Rothe, vor allem wegen der Gefahr der Hypothermie und dem dadurch zusätzlich entstehenden Gewebeschaden, in Deutschland nicht mehr ausgesprochen [11].

Dabei hatten Tierexperimente schon vor längerem gezeigt, dass die Kühlung mit 15 °C kaltem Wasser über 10 – 20 Minuten die Tiefe des Gewebeschadens und die Narbenbildung verringern [114].

Harish et al. berichten über 4.918 Erwachsene mit Verbrennungen < 10 % vKOF aus Australien in den Jahren 2007 – 2012, davon waren 51 % Folge einer Verbrühung. Bei 58 %

der Patienten war die Verletzung mit fließend kaltem Wasser mindestens 20 Minuten lang gekühlt worden. Die vKOF war bei diesen Patienten zwar nicht kleiner, aber die Verbrennungstiefe signifikant geringer und Wundheilung der Patienten mit der Notwendigkeit einer Hautverpflanzung verlief rascher [115].

Bei 212 Erwachsenen mit Verbrennungen von > 5 % der KOF konnten Lönnecker und Schoder [57] zum Zeitpunkt der Aufnahme im Verbrennungszentrum keinen Einfluss der in 80 % der Fälle präklinisch durchgeführten Kaltwassertherapie auf die Körpertemperatur feststellen. Nur die 69 Patienten, die intubiert und in Narkose aufgenommen wurden, hatten mit 34,3 °C eine signifikant geringere Körpertemperatur als die Patienten ohne Narkose (36,5 °C).

In den Niederlanden wird die Kühlung von Verbrennungswunden als Erstmaßnahme ausdrücklich empfohlen; entsprechend wurde bei über 90 % der 622 Kindern im Alter bis zu fünfzehn Jahren, vor der Verlegung in eines der drei Verbrennungszentren des Landes, gekühlt [14]. Allerdings fanden drei Viertel dieser Verlegungen aus einer erstversorgenden Klinik statt und nur 13 Prozent wurden durch den Rettungsdienst direkt eingeliefert [14]. Eine Hypothermie (≤ 35 °C) wurde nur bei 3,1 % aller Kinder festgestellt, wobei das Risiko bei > 10 % vKOF erhöht war.

Während sich also die Autoren der deutschen LL eher zurückhaltend zu Kühlungsmaßnahmen äußern, wird in den Niederlanden, den USA, Australien und Großbritannien, wegen der Minderung von Verbrennungsschäden, eine 20minütige Kühlung unter fließendem Wasser auch bei Kindern empfohlen [14, 35].

Da die Autoren einer aktuellen systematische Übersichtsarbeit [116] keine ausreichende Beweislage für die optimale Dauer dieser Ersthelfermaßnahme und auch keine ausreichenden Beweise für eine raschere Epithelialisierung von Brandwunden fanden, wird diese Diskussion wohl weiter geführt werden.

5.4.2.3.2 Wärmeerhalt

Die großflächige oder prolongierte Anwendung von Wasser zur Kühlung könnte eine systemische Hypothermie des Kindes verursachen, so dass eher Maßnahmen zum Wärmeerhalt empfohlen werden. Dokumentierte Maßnahmen zum Wärmeerhalt wurden in der vorliegenden Arbeit nur 18-mal gefunden, in vielen Fällen fehlten Angaben dazu.

Obwohl nur selten dokumentiert ist, dass die in der LL empfohlenen Maßnahmen zum Wärmeerhalt vorgenommen wurden, waren bei Klinikaufnahme nur zwei Kinder leicht hypotherm. Dies kann an den kurzen Transportzeiten (s. 4.4.3.2), dem seltenen Einsatz von Kühlungsmaßnahmen (3,8 %) oder der lückenhaften Dokumentation einer Maßnahme liegen, die bei Kindern „routinemäßig“ ohnehin durchgeführt wird.

5.4.2.4 Wundabdeckung

Die Dokumentation zur Wundabdeckung vor Ort bei den Kindern dieser Arbeit war lückenhaft. Nur in 30 Fällen war eine sterile Abdeckung vermerkt, während 72-mal dazu nichts dokumentiert wurde. Das sterile Abdecken einer Brandwunde gehört zum Standard bei der Erstversorgung, so dass argumentiert werden könnte, dass diese Maßnahme (ähnlich wie die Fixierung eines Venenzugang mit sterilem Pflaster) zwar durchgeführt, aber nicht dokumentiert werden muss. Eine Arbeit aus den Niederlanden stellt allerdings fest, dass bei Aufnahme in einem Verbrennungszentrum zuletzt 89 % der Verletzungen abgedeckt waren [14].

5.4.2.5 Sicherung der Sauerstoffversorgung

Die Mehrzahl der in dieser Arbeit vorgestellten Kinder wies auch unter Raumlufatmung eine normale Sauerstoffsättigung des Blutes auf (s. 4.1.6, Tab. 2). Bei 14 Kindern wurde Sauerstoff über eine Nasen- oder Gesichtsmaske supplementiert und nur vier der Kinder wurden intubiert und beatmet. Eine supraglottische Atemwegssicherung durch Larynxmaske o.ä. [61] wurde nicht eingesetzt.

In der Arbeit von Lechleuthner et al. waren 12,2 % der Kinder durch den Notarzt intubiert [19]. Da 24 % der Verletzungen Folge von Feuer oder Explosionen waren, waren diese Kinder dem Risiko eines Inhalationstraumas und damit einer Oxygenierungsstörung ausgesetzt.

Bei nur 6 % der Kinder in dieser Arbeit waren die Verletzungen durch Flammen verursacht und keines der Kinder wies Anzeichen eines Inhalationstraumas auf, wodurch die geringe Rate an Sauerstoffsupplementierung oder Intubationen erklärt werden kann.

5.4.2.6 Analgosedierung

Die präklinische Gabe von Analgetika und/oder Sedativa wurde bei 89 Kindern (85,5 %) dokumentiert, bei sieben Kindern (6,7 %) wurde ausdrücklich auf eine Gabe verzichtet, achtmal war kein entsprechender Eintrag vorhanden. Zahlreiche Medikamente und Kombinationen daraus kamen dabei zum Einsatz (s. 4.4.2.6, Abb. 13). Am häufigsten wurde Ketamin in Kombination mit Midazolam verwendet (30,2 %), gefolgt von Opioiden kombiniert mit anderen Substanzen (11,5 %) oder als Monotherapie (10,4 %).

Um die eingesetzten Regime der Analgosedierung in dieser Arbeit zu verdeutlichen, wurden die Medikamente in Gruppen zusammengefasst. In über der Hälfte aller Fälle war Ketamin beteiligt, Opioide (ohne Ketamin) wurden bei einem Viertel der Kinder verwendet, schwach wirksame Analgetika in 7,3 % und ausschließlich Sedativa in 6,3 % (s. 4.4.2.6, Abb. 14).

Auffallend war der häufigere Einsatz von Ketamin bei Jungen und die häufigere Verwendung von schwach wirksamen Analgetika oder der völlige Verzicht auf ein Medikament bei Mädchen (s. 4.4.2.6, Abb. 15). Die Ausdehnung der Verbrennung spielte keine Rolle bei der Auswahl der Analgosedierung (s. 4.4.2.6, Tab. 5). In der Klinik wurden Verbrennungen des Schwere-

grads 3 bei Jungen mit 18,8 % sehr viel häufiger festgestellt als bei Mädchen (5,3 %, s. 4.3, Tab. 3). Das könnte den unterschiedlichen Einsatz von Analgetika erklären.

Andererseits sind die Hautareale mit tiefen Verbrennungen 3. Grades, wegen der Zerstörung nozizeptiver Strukturen, oft schmerzfrei [13]. Die Beurteilung der Verbrennungsgrade vor Ort wiederum zeigten bei Jungen häufiger Muster mit Verbrennungen Grad 2 (s. 4.3, Abb. 10). Die sehr unterschiedliche Bewertung des Schweregrades präklinisch und klinisch kommt in dem Wert von Cohens κ (0,192) zum Ausdruck, der keine signifikante Übereinstimmung bedeutet.

Nach Hennes et al. kommen Opiate bei Kindern nach Verletzungen und Verbrennungen seltener zum Einsatz als bei Erwachsenen [17]. Dagegen stellten Holak et al. fest, dass Kinder mit Verbrennungen, verglichen mit anderen Verletzungsursachen, noch am häufigsten ein Analgetikum, bevorzugt Morphin (40 %) oder Metamizol (29 %), erhielten [56].

Strobel und Fey listen zehn verschiedene Medikamente zur Schmerztherapie bei Kindern mit Verbrennungen in der Notaufnahme auf, darunter auch schwache Analgetika, die nur oral oder rektal gegeben werden können [15]. Schwache Analgetika, wie Paracetamol oder Ibuprofen, die auch bei Kindern dieser Arbeit eingesetzt wurden, halten Hüging und Rothe in der Erstversorgung thermisch verletzter Kinder für nicht ausreichend [11]. Sie empfehlen, entsprechend den LL [10], Ketamin(-S), Fentanyl, Piritramid und zur Sedierung Midazolam. Alle diese Substanzen werden für die präklinische Anwendung empfohlen [5] und wurden auch bei Kindern aus dieser Arbeit verwendet.

Die genannten schwachen oder „peripheren“ Analgetika kamen ebenfalls bei der Erstversorgung der Kinder der vorliegenden Arbeit zum Einsatz, allerdings oft in Kombination mit Ketamin oder Opioiden (s. 4.4.2.6, Abb. 13). Eine Schmerzbehandlung nur mit NSAR, Paracetamol oder Metamizol war die Ausnahme, ebenso wie die alleinige Gabe eines Sedativums (s. 4.4.2.6, Abb. 13). Dennoch fällt auf, dass es keinen Zusammenhang zwischen der Ausdehnung der Verbrennung und dem gewählten Regime zur Analgosedierung gibt (s. 4.4.2.6, Tab. 5).

Das Fehlen eines Venenzugangs bedeutet nicht, dass keine angemessene Analgesie gewährleistet war. In zahlreichen Arbeiten werden alternative Applikationswege (intranasal, rektal) für die zur Analgosedierung eingesetzten Medikamente beschrieben [10, 54, 55, 61, 74], die auch bei Kindern in dieser Arbeit 52-mal eingesetzt wurden.

Aus der notärztlichen Dokumentation dieser Arbeit geht zwar hervor, dass bis zu vier Medikamente, auch mit unterschiedlichen Applikationsformen, zur Analgesie verwendet wurden. Allerdings war den Aufzeichnungen nicht zu entnehmen, in welcher Reihenfolge sie gegeben wurden. Damit bleibt offen, ob der postulierte [74] - im Vergleich zur i.v. Anwendung - rasche Wirkungseintritt einer primär intranasalen Analgosedierung wirklich genutzt wurde. In zwei

Fällen wurde ausschließlich Ibuprofen oral verabreicht, eine bei Verbrennungen ungeeignete Form der Analgesie [11].

Hoffmann und Deanovic nennen als „nichtinvasive“ Zugangswege zur Analgesie, neben der rektalen und intranasalen Anwendung, in Ausnahmefällen auch die intramuskuläre Injektion von Esketamin [55]. Erfreulicherweise wurde keine i.m. Applikation in den Protokollen dieser Arbeit genannt.

Bei Kindern mit Verdacht auf Extremitätenfrakturen waren intranasales Ketamin (1 mg/kg) oder intranasales Fentanyl (1,5 µg/kg) gleichermaßen analgetisch wirksam [117].

Die intranasale Applikation von Ketamin oder Opioiden bei Kindern in der Notfallmedizin ist zwar weit verbreitet [10, 54, 55, 61, 74], dennoch ist diese Art der Anwendung formal ‚off-label use‘ [74]. Fentanyl ist als Nasenspray in verschiedenen Dosierungen seit 2009 für die Behandlung von Durchbruchschmerzen bei Erwachsenen, die bereits unter einer Opioid-Basistherapie wegen chronischer Tumorschmerzen stehen, zugelassen. Der Dokumentation war nicht zu entnehmen, ob eines dieser speziellen Fentanyl-Nasensprays bei den Kindern zum Einsatz kam. Esketamin als Nasenspray ist erst seit 2021 zur Behandlung der Symptome einer Depression bei Erwachsenen zugelassen, daher ist diese Darreichungsform bei den Kindern in dieser Arbeit wohl nicht verwendet worden.

5.4.3 Transport

Zum Transport in die Klinik wurde in 39 % der Fälle ein Rettungshubschrauber genutzt, wobei das Transportmittel unabhängig vom Ausmaß der Verbrennung gewählt wurde (s. 4.4.3.1, Tab. 6). Die Zeit zwischen Unfall und Eintreffen des Notarztteams und die eigentliche Transportzeit konnten wegen der vielen fehlenden Angaben in den Notarztprotokollen nicht ausgewertet werden, wohl aber 56-mal die Dauer zwischen dem Eingang des Alarms und der Ankunft in der Klinik. Mit einem Mittelwert von ca. einer Stunde und einem Maximum von zwei Stunden, sind diese Zeiten kurz.

Ende der 1990er-Jahre war die Hälfte der Kinder, die auf der Intensivstation des Verbrennungszentrum in Mannheim behandelt wurden, mit dem Rettungshubschrauber transportiert worden [18]; fast die Hälfte aller Patienten gelangten innerhalb von zwei Stunden nach dem Unfall auf die Intensivstation.

Von den 41 Verlegungen mit dem Rettungshubschrauber der vorliegenden Arbeit waren drei Sekundärverlegungen, in allen anderen Fällen wurde der Hubschrauber als primäres Transportmittel vom Unfallort in die Klinik genutzt. Die Frage, ob die Wahl dieses Transportmittels durch die Entfernung von der Klinik und die sich daraus ergebende Transportzeit begründet war, kann diese Arbeit nicht beantworten.

5.5 Vergleich der Ergebnisse mit der Leitlinie

Die S2k-Leitlinie zur Behandlung thermischer Verletzungen im Kindesalter (Verbrennung, Verbrühung) [10] wurde im April 2015 publiziert und war damit in den Jahren 2017 – 2021, aus denen die erhobenen Daten der vorliegenden Arbeit stammen, bekannt und gültig. Die LL behandelt die „(prä)klinische Erstversorgung, die Diagnostik, Lokalbehandlung sowie die qualifizierte Nachsorge der verletzten Haut“ [10].

5.5.1 Ausdehnung der Verbrennung

Die LL nennt zur Beurteilung der Ausdehnung der Verbrennung die Handflächenregel oder das Schema von Lund und Browder. Nach welcher der Regeln die Einschätzung der vKOF durch die Notärzte vorgenommen wurde, ist in den Notarztprotokollen nicht vermerkt. In der Kinderklinik werden bei kleineren Verbrennungen die Handflächenregel, bei größeren das Schema nach Lund und Browder (ggf. auch in Kombination) angewandt [84, 85].

Parallel zur Prüfung und Sicherung der Vitalfunktionen „sollte am Unfallort die Ersteinschätzung der thermischen Verletzung hinsichtlich Ausmaß und Tiefe (...) erfolgen“ [10]. Da die Indikation für das Legen eines Venenzugangs (ab etwa 10 % vKOF) und die Entscheidung zur Verlegung in ein Zentrum für schwerbrandverletzte Kinder von der Ausdehnung der Verbrennung (Verbrennungen 2. Grades von ≥ 10 % vKOF, Verbrennungen 3. Grades von ≥ 5 % vKOF) abhängig gemacht wird [10], ist eine Abschätzung der % vKOF auch am Unfallort obligatorisch. Die vKOF wurde durch den Notarzt in 87 % der Fälle dieser Arbeit dokumentiert.

5.5.2 Verletzungstiefe

Die Einteilung der Verletzungstiefe in die Grade 1 bis 4 wird in der LL in einer Tabelle detailliert beschrieben und in einer Abbildung schematisch dargestellt. Da die Indikation zur Verlegung in ein Zentrum für schwerbrandverletzte Kinder u.a. vom Verbrennungsgrad abhängt (s. 5.5.1), ist eine Festlegung vor Ort notwendig. Der Verbrennungsgrad wurde von Notärzten in 88 % der Fälle dokumentiert.

5.5.3 Vitalfunktionen

Nach der Rettung aus der Gefahrenzone empfiehlt die LL als Erstmaßnahme die Überprüfung und Sicherung der Vitalfunktionen. Vitalparameter sind in dieser Arbeit durch den Notarzt unterschiedlich häufig dokumentiert: die SpO₂ bei 88 % der Kinder, die Herzfrequenz bei 87 %, die Atemfrequenz bei 61 %, der systolische Blutdruck bei 25 % und der diastolische Blutdruck bei 16 %. Die GCS zur Einschätzung einer Bewusstseinsstörung wurde bei 86 % der Kinder erhoben.

5.5.4 Kühlen

Eine lokale Kühlung der Wunde mit handwarmem Wasser wird nur bei kleineren Verbrennungen und in den ersten 30 Minuten bis zum Eintreffen des Notarztes empfohlen. In der vorlie-

genden Arbeit wurde bei 3,8 % der Kinder von Ersthelfern gekühlt. Die LL warnt ausdrücklich vor der Gefahr der Unterkühlung. Laut LL „muss der Patient während des Transports vor Auskühlung geschützt und die Temperatur gemessen werden“. Maßnahmen zum Wärmehalt sind bei 17 % der Kinder dokumentiert, die Körpertemperatur wurde bei 25 % der Kinder gemessen. Die in der LL geforderte sterile Abdeckung aller Verbrennungswunden ist nur in 29 % der Fälle dokumentiert.

5.5.5 Infusionstherapie

Die LL empfiehlt: „Wegen des Risikos eines Volumenmangelschocks sollte ab etwa 10 % verbrannter KOF mindestens ein (großlumiger) periphervenöser Zugang gelegt werden“. Und weiter: „Kann kein i.v.-Zugang gelegt werden, so ist unter Berücksichtigung der Transportdauer die intraossäre Flüssigkeitssubstitution zu erwägen“.

In dieser Arbeit wurde bei 55 % der Kinder ein Gefäßzugang gelegt, bei 5 % war dies ein intraossärer Zugang. Ein Gefäßzugang wurde bei den Kindern in dieser Arbeit unabhängig von der Ausdehnung der Verbrennung etabliert. Bei 13 % der Kinder wurde trotz einer präklinisch geschätzten vKOF > 10 % kein Gefäßzugang gelegt.

Die LL empfiehlt zur Volumensubstitution isotone, kristalloide Lösungen, wobei eine Menge von 10ml/kg Körpergewicht/h dabei nicht überschritten werden sollte [10]. Ein Hinweis auf eine differenzierte präklinische Volumenzufuhr abhängig von der % vKOF findet sich in der LL nicht.

Den hier untersuchten Kindern wurden ausschließlich Vollelektrolytlösungen infundiert. Der Median des zugeführten Volumens überschritt mit 11,9 ml/kgKG den empfohlenen Grenzwert, bei einer Zeit zwischen Alarmierung und Klinikaufnahme von durchschnittlich einer Stunde. Bei den Mädchen dieser Arbeit betrug der Median der dokumentierten Volumenzufuhr 20,8 ml/kgKG. Die Menge des infundierten Volumens war unabhängig von der Ausdehnung der Verbrennung.

5.5.6 Analgosedierung

Die LL räumt der Schmerzbehandlung oberste Priorität ein. Empfohlen werden die Verwendung von Ketamin/Ketamin S sowie Opioide in Kombination mit Midazolam. Erwähnt werden auch die nasale oder rektale Verabreichung von Ketamin, wenn am Unfallort kein intravenöser Zugang gelegt werden kann. Betont wird, dass „peripher wirkende Analgetika allein keine ausreichende Analgesie ermöglichen“ [10].

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Analgesieregime mit Ketamin in 54 % der Fälle gewählt, ein Opioid (als Monotherapie oder in Kombination) bei 24,9 %. Schwach wirksame („periphere“) Analgetika kamen bei 7,2 % zum Einsatz, nur Sedativa bei 5,2 %. Ketamin, Opioide und Sedativa wurden bei 40 % der Kinder auch nasal und bei 10 % auch rektal appliziert.

Eine Messung der Schmerzstärke nach Verbrennungen wird in der LL nicht erwähnt. In dieser Arbeit wurde bei 48 % der Kinder die Stärke der Schmerzen mittels NRS/VAS dokumentiert.

5.5.7 Transport

Der Transport von Kindern mit Verbrennungen in die Klinik soll laut LL mit Notarztbegleitung erfolgen, ohne dass die Art des Transportmittels erwähnt wird.

Da in der vorliegenden Arbeit nur Fälle erfasst wurden, von denen auch Notarztprotokolle verfügbar waren, war diese Vorgabe der LL erfüllt. Mit dem Rettungshubschrauber wurden 39 % der Kinder transportiert, unabhängig von der Ausdehnung ihrer Verbrennungen.

Von 329 Kindern mit Verbrennungen, die in Jahren 2017 – 2021 in der Kinderklinik in Mainz behandelt wurden, waren 21 % mit dem Rettungsdienst ohne Notarztbegleitung eingeliefert worden.

5.6 Letalität

Keines der Kinder, über die in dieser Arbeit berichtet wird (Mittelwert der vKOF 8,0 %), verstarb an den Folgen seiner Verletzungen. Dieses erfreuliche Ergebnis deckt sich mit den Daten aus der neueren Literatur über die Letalität nach Verbrennungen. Tegtmeyer et al. [9] berichten über 13.437 Kinder aus 32 Kliniken in Deutschland und Österreich in den Jahren 2006 – 2015. Der Mittelwert der vKOF in dieser Fallserie betrug 7,5 %. Fast die Hälfte der Kinder war zwischen ein und drei Jahre alt, 20 % waren jünger als ein Jahr und die Letalität betrug 0,1 %.

Auch die Todesursachenstatistik für Deutschland weist bei Kindern und Jugendlichen in den Jahren 2017 – 2020 nur noch vereinzelte Todesfälle auf [44]. Das früher zu beobachtende Muster einer höheren Zahl von verstorbenen männlichen Kindern und Jugendlichen war zuletzt nicht mehr nachweisbar (s. 2.13, Abb. 2).

Barrows et al. berichten über 747 schwerverbrannte Kinder und Jugendliche bis 17 Jahre (> 40 % vKOF, davon 35 % Mädchen), die in den Jahren 1985 – 2005 in einem Verbrennungszentrum in Texas, USA, behandelt wurden [32]. Die Letalität war in der Altersgruppe bis zu 2,9 Jahren signifikant erhöht, verglichen mit der Letalität älterer Kinder. Insgesamt verstarben 12,5 % der Mädchen und 10,5 % der Jungen, ohne signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern in allen Altersgruppen.

Auch die Auswertung der 839 Verbrennungsfälle (vorwiegend Erwachsene) der Jahre 1994 – 2014 aus der Verbrennungseinheit des Allgemeinen Krankenhauses Wien, zeigte keinen geschlechtsspezifischen Unterschied in der Letalität, wenn Ausdehnung und Schweregrad der Verbrennung, ein Inhalationstrauma sowie das Alter als Risikofaktoren berücksichtigt wurden [28].

Eine systematische Übersicht der von 1985 – 2009 publizierten 76 Arbeiten zu 186.500 Patienten mit Verbrennungen in europäischen Ländern ergab, dass fast die Hälfte der Patienten jünger als 16 Jahre alt war [46]; die Autoren fanden keine Hinweise auf eine unterschiedliche Letalität der Geschlechter nach Verbrennungsunfällen.

Zusammenfassend ist das Geschlecht bei Kindern und Jugendlichen - bei insgesamt sehr geringer Letalität - kein unabhängiger Einflussfaktor auf das Überleben nach Verbrennungen.

5.7 Morbidität

Über die Morbidität nach den Verbrennungen unterschiedlicher Schwere kann im Rahmen dieser Arbeit nur eine sehr begrenzte Aussage getroffen werden. Die Dauer der Krankenhausbehandlung bei Jungen war im Median um zwei Tage länger als bei Mädchen. Das ist durch die sehr lange (intensiv-)stationäre Behandlung (30, 46 und 61 Tage) von drei der Jungen erklärbar. Insgesamt zeigte sich ein loser linearer Zusammenhang der in der Klinik festgestellten vKOF und der Dauer der stationären Behandlung (s. 4.4.4, Abb. 16). Mit jedem Prozent an vKOF nahm die Dauer der stationären Behandlung im Mittel um ca. 1,2 Tage zu. Der Grad der Verbrennung spielte dabei keine entscheidende Rolle (s. 4.4.4, Abb. 16).

Dieser Wert entspricht ungefähr der von American Burn Association genannten durchschnittlichen Behandlungsdauer von einem Tag pro ein Prozent verbrannter Körperoberfläche [93].

Jeschke et al. [24] berichten über die Behandlungsergebnisse und metabolischen Veränderungen von Mädchen und Jungen nach schweren Brandverletzungen ($\geq 40\%$ vKOF) aus einer Klinik in Texas, USA. Obwohl sich demographische Daten, vKOF, Letalität und Schwere der Begleitverletzungen nicht unterschieden, betrug die durchschnittliche Behandlungsdauer auf der Intensivstation dort für Mädchen 29 Tage, die für Jungen war mit 38 Tagen länger. Die Autoren führen dies auf eine schwächere Entzündungsreaktion und geringer ausgeprägte metabolische Veränderungen der weiblichen Verletzten zurück [24].

Nach einer Analyse der Daten von 10.384 Patienten der Jahre 1989 – 2017 aus zwei Verbrennungszentren (davon eines für Kinder) in Galveston, USA, nahm die Behandlungsdauer pro 1 % vKOF durchschnittlich um 0,34 Tage zu [52]. Dieses Ergebnis ist mit dem der vorliegenden Arbeit nicht vergleichbar, da der Altersmedian aller Patienten 13 Jahre betrug und die Ergebnisse für Kinder nicht getrennt berichtet werden [52].

5.8 Stationäre oder ambulante Behandlung

Alle Kinder, über die in dieser Arbeit berichtet wird, wurden stationär behandelt, aber vier der Kinder - im Alter von 15 Monaten bis 10 Jahren - waren nur einen Tag in der Klinik. Die in der Klinik festgestellte vKOF dieser Kinder lag zwischen ein und sechs Prozent, alle hatten Verbrühungen an den Extremitäten und in allen Fällen wurde der Schweregrad mit 2A beschrieben. Über mögliche Gründe für die stationäre Aufnahme, wie Begleitverletzungen, den Wohnort der

Familien oder soziale Umstände kann im Rahmen dieser Arbeit nur spekuliert werden. Auffällig ist, dass drei dieser vier Kinder mit dem Rettungshubschrauber zuverlegt wurden, was auf einen weiter entfernten Unfallort hindeutet und Anlass für die Aufnahme gewesen sein könnte.

Europaweit nahm die Anzahl der Patienten mit Verbrennungen in den letzten Jahrzehnten ab, wobei die Zahl der Kinder unter zwei Jahren mit Verbrühungen infolge häuslicher Unfälle in der Küche eher anstieg [46]. Die Dauer der stationären Behandlung nach Verbrennungen verkürzte sich in manchen europäischen Ländern in 15 Jahren um bis zu 26 % [46]. Offen ist, ob sich aus dieser Entwicklung auch ein Potential für die ambulante Behandlung von Kindern nach Verbrennungsunfällen in Deutschland ergibt.

In den Jahren 2016 – 2018 wurden 470 vorwiegend erwachsene Verbrennungspatienten in die Ambulanz des Allgemeinen Krankenhauses in Vancouver, Kanada, überwiesen [63], davon 74 % aus einer Notaufnahme und 70 % mit einer vKOF < 5 %. Ein Drittel davon hatte nur diesen einen ambulanten Termin und 15 % erhielten keine Behandlung. Die Autoren schließen daraus, dass die regionalen Richtlinien „unnötige“ Überweisungen in die Ambulanz begünstigen [63]. Wegen der geringen Zahl an Kindern und Jugendlichen in der Studie (0,6 %), sind die Ergebnisse nicht ohne weiteres auf die Behandlung dieser Altersgruppe übertragbar.

Aus den USA, wo das ambulante Operieren aus Kostengründen verbreitet ist, wird auch ein Trend zur ambulanten Behandlung von Kindern nach Verbrennungen berichtet [25, 26]. Die Zahl der Kinder in Kalifornien, die nach der Erstbehandlung nach Hause entlassen wurden, nahm in den Jahren 2005 – 2013 jedes Jahr signifikant zu, wobei vorwiegend kleinere und oberflächliche Verbrennungen bei älteren Kindern dafür verantwortlich waren [25].

Nach den LL der American Burn Association kann bei oberflächlichen Verbrennungen von < 5 % der KOF oder tiefen Verbrennungen < 2 % der KOF auch eine ambulante Behandlung erwogen werden [118].

Wie viele Kinder mit Verbrennungen in Deutschland ausschließlich ambulant behandelt werden, ist nicht bekannt. Die Autoren der LL zur Behandlung thermischer Verletzungen im Kindesalter formulieren: „die stationäre Behandlung brandverletzter Kinder sollte Spezialisierten Kliniken für Brandverletzte Kinder oder Zentren für schwerbrandverletzte Kinder vorbehalten werden“ [10]. Voraussetzungen, unter denen ein Kind mit Verbrennungen auch primär nur ambulant behandelt werden könnte, werden in der LL aus dem Jahr 2015 nicht genannt.

5.9 Limitierungen der Arbeit

Die vorliegende Arbeit weist eine Reihe von Limitierungen auf:

Die Untersuchung erfolgte nicht prospektiv, d.h. die Dokumentation der präklinischen Befunde und Maßnahmen fand nicht zum Zweck der Beantwortung der Fragestellungen dieser Arbeit statt. Gleiches gilt für die Inhalte der zum Vergleich herangezogenen Dokumentation in der Klinik, wie Aufnahmeprotokolle und ärztliche Abschlussberichte.

Die ausgewerteten Notarztprotokolle der verschiedenen Rettungsdienste waren nicht einheitlich strukturiert. Bei einigen Protokollen war ein Verbrennungsunfall nicht ausdrücklich angeführt, so dass die Dokumentation darin als Freitext formuliert werden musste.

Die Notarztprotokolle waren teilweise sehr lückenhaft ausgefüllt und die handschriftlichen Bemerkungen schwer lesbar. Daher sind die Daten mancher Variablen (Erste-Hilfe-Maßnahmen, Kühlung, Wärmeerhalt, einzelne Vitalparameter) unvollständig, so dass keine verlässlichen Aussagen dazu getroffen werden können. Auf die Problematik der Dokumentation von genau 500 ml Infusionslösung im Protokoll in einigen Fällen, wurde in der Diskussion hingewiesen.

In Fällen, bei denen weder im Notarztprotokoll noch in der Krankenakte ein Körpergewicht vermerkt war, wurde das vermutliche Körpergewicht des betreffenden Kindes aus der geschlechtsspezifischen 50. Altersperzentile eines Nomogramms entnommen, um die applizierte Menge an Infusionslösung zu berechnen. Das infundierte Volumen in ml/kgKG würde bei stark über- bzw. untergewichtigen Kindern damit unter- bzw. überschätzt.

Insgesamt wurden 329 Verbrennungsfälle mit stationärer Aufnahme in der Kinderklinik in den Jahren 2017 – 2021 registriert. Die in der Arbeit ausgewerteten 104 Fälle sind nur diejenigen, die in den Aufnahmeprotokollen der Kinderklinik als Verbrennungen archiviert wurden und zu denen die dazugehörigen Notarztprotokolle auffindbar waren. Die Protokolle von Rettungsdiensteinsätzen ohne Arztbegleitung wurden nicht in die Auswertung eingeschlossen, da damit eine noch größere Heterogenität der Dokumentation vorgelegen hätte. In 77 Fällen war weder ein Notarzt- noch ein Rettungsdienstprotokoll auffindbar.

Unklar ist, ob über die in der Kinderklinik der Universität Mainz behandelten Kinder hinaus, in den Jahren 2017 – 2021 weitere Fälle von Verbrennungen an anderen Kliniken oder ambulant behandelt wurden.

Die Jahre 2020 und 2021 im Untersuchungszeitraum waren geprägt durch die COVID-19 Pandemie. Die in manchen Phasen der Pandemie extremen Versorgungsbedingungen könnten die Ergebnisse beeinflusst haben.

Welchen Einfluss geschlossene Kindergärten und Schulen, Ausgangsbeschränkungen und Isolationsauflagen auf die Inzidenz häuslicher Unfälle inkl. Verbrennungen hatten, ist bislang

nicht systematisch untersucht. Auffallend ist die erhöhte Zahl von Kindern mit Verbrennungen während der letzten beiden Jahre in dieser Untersuchung (s. 4.1.1, Tab. 1). In die gleiche Richtung weist auch der überraschende Anstieg auf fünf Todesfälle durch Verbrennungen im Jahr 2020 in der Altersgruppe der männlichen Ein- bis unter 15-Jährigen, nachdem in den Vorjahren jeweils kein bis maximal zwei Todesfälle in dieser Altersgruppe registriert worden waren (s. 2.13, Abb. 2).

Ob sich dieser Trend bei Kindern und Jugendlichen auch in der Todesursachenstatistik des Jahres 2021 fortgesetzt hat, kann den Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamts (DESTATIS) leider nicht mehr entnommen werden. Laut DESTATIS dürfen Werte < 3 nach den geltenden Geheimhaltungsvorschriften nach § 16 Abs. 1 BStatG (Bundesstatistikgesetz) in der altersdifferenzierenden Todesursachenstatistik nicht mehr ausgewiesen werden. Interpretiert man die veröffentlichten Tabellen des DESTATIS unter dieser Prämisse, könnten in der Altersgruppe der Ein- bis unter 15-Jährigen im Jahr 2021 in Deutschland zwischen fünf und zehn Kinder in Folge von Verbrennungen verstorben sein [119]. Dies wäre - im Vergleich zu den Vorjahren - eine Trendumkehr in den Jahren der COVID-19-Pandemie.

6 Zusammenfassung

6.1 Einführung

Jährlich wurden zuletzt in Deutschland über 6.500 Kinder mit Verbrennungen stationär behandelt, davon mehr als 80 % in speziellen Zentren für Brandverletzte. Die weitaus häufigste Ursache im Vorschulalter sind häusliche Verbrühungen, etwa zwei Drittel der Verletzten sind männlichen Geschlechts. Die präklinische Behandlung ist von hoher Bedeutung: Neben der Beurteilung etwaiger Begleitverletzungen und der Sicherung der Vitalfunktionen umfasst die notärztliche Erstversorgung die Schmerzbehandlung, ggf. das Legen eines Gefäßzugangs und die Flüssigkeitstherapie. Die korrekte Einschätzung der Ausdehnung der Verbrennung (in Prozent der Körperoberfläche, % vKOF) und des Schweregrads der Verbrennung entscheiden über die Verlegung in ein Verbrennungszentrum, die Infusionstherapie und die Wahl der Analgesie. Frühere Untersuchungen hatten gezeigt, dass die % vKOF vor Ort oft überschätzt wird, die daraus abgeleitete Infusionstherapie zu großzügig erfolgt und die Schmerzbehandlung der Kinder unzureichend ist.

6.2 Fragestellung

Die aktuelle Qualität der präklinischen Erstversorgung von Kindern mit Verbrennungen sollte erfasst werden, wobei die Empfehlungen der S2k-Leitlinie zur Behandlung thermischer Verletzungen im Kindesalter aus dem Jahr 2015 zu Grunde gelegt wurden. Dazu wurden Verbrennungsfälle der Kinderklinik der Universität Mainz und die zugehörigen Notarztprotokolle ausgewertet. Dabei sollten erstmals auch geschlechtsspezifische Unterschiede in der Versorgung analysiert werden. Die wichtigsten Fragen waren: Unterscheidet sich die präklinische Einschätzung der vKOF im Vergleich zu der in der Klinik festgestellten vKOF? Orientiert sich das Infusionsvolumen an der vKOF? Wie erfolgte die medikamentöse Schmerzbehandlung und besteht eine Beziehung zur vKOF? Welche Erstmaßnahmen wurden getroffen? In welchen Punkten unterscheidet sich die Einschätzung und Behandlung von Mädchen und Jungen?

6.3 Ergebnisse

Die Daten von 104 Kindern (38 Mädchen, Alter 5 Tage – 14 Jahre, Median 18 Monate; 66 Jungen, Alter 5 Wochen – 11 Jahre, Median 17 Monate) aus den Jahren 2017 – 2021 konnten ausgewertet werden. Zu Hause oder in der Freizeit verunfallten 83 % der Kinder, Ursache waren in 90 % der Fälle Verbrühungen. Mädchen und Jungen unterschieden sich darin nicht. Vor Ort wurde die vKOF zwischen 2 und 40 % (MW 13,9 %) eingeschätzt, in der Klinik zwischen 1 und 25 % (MW 8,0 %). Im Mittel wurde die Fläche der Verbrennungen vor Ort um 6,35 % der KOF überschätzt, die Qualität der Übereinstimmung bei paarweiser Einschätzung war schlecht (ICC 0,223). Die Fehleinschätzungen bei Mädchen und Jungen unterschieden sich nicht. Nach Flammeneinwirkung (n=6) war die vKOF mit 15 % größer als nach Verbrühung

(vKOF 7 %, n=94). Eine Verbrennung Grad 3 wurde vor Ort bei 10,9 % der Verletzten angegeben, in der Klinik bei 13,7 %. Die Häufigkeit des Schweregrads 3 wurde präklinisch bei Mädchen über- und bei Jungen unterschätzt. In der Einschätzung des Schweregrades durch Notärzte und Klinik bestand keine signifikante Übereinstimmung. Als Lokalisation der Verbrennungen wurden am häufigsten Extremitäten (84 %) und Rumpf (68 %) angegeben. Verbrennungen im Gesicht wiesen 41 % der Jungen, aber nur 13 % der Mädchen auf. Ein Zugang zum Gefäßsystem wurde, unabhängig von der Ausdehnung der Verbrennung, bei 55 % der Kinder gelegt. Das Infusionsvolumen überstieg im Mittel mit 11,8 ml/kgKG Vollelektrolytlösung die empfohlene Höchstmenge von 10 ml/kgKG/h, insbesondere bei Mädchen mit im Mittel 20,8 ml/kgKG. Die Schmerzintensität wurde nur bei der Hälfte der Kinder dokumentiert, aber > 90 % der Kinder erhielten Analgetika. Das Analgesieregime enthielt bei 54 % Ketamin, oft kombiniert mit Midazolam, gefolgt von Opioiden mit 25 %. Mädchen erhielten häufiger als Jungen schwache Analgetika, nur Sedativa oder kein Analgetikum. Die Wahl der Analgesie erfolgte unabhängig von der Ausdehnung der Verbrennung. Zwischen Alarmierung des Rettungsdienstes und Klinikaufnahme verging im Mittel eine Stunde. Mit einem Rettungshubschrauber wurden 39 % der Kinder transportiert. Die stationäre Behandlung dauerte zwischen einem und 61 Tagen (Median 6 Tage). Jungen wurden im Median zwei Tage länger als Mädchen behandelt, vier der Kinder waren nur einen Tag in der Klinik. Mit jedem % vKOF verlängerte sich der stationäre Aufenthalt im Mittel um 1,2 Tage. Keines der Kinder verstarb an den Folgen seiner Verbrennungen.

6.4 Diskussion

Die präklinische Überschätzung der vKOF ist klinisch relevant und bestätigt Ergebnisse früherer Untersuchungen. Gründe dafür könnten Unsicherheiten der Erstbehandelnden bei der Bestimmung der vKOF bei Kindern sein, da mehrere, z.T. komplexe Regeln als gleichwertig empfohlen werden und Verbrennungen 1. Grades präklinisch noch imponieren, bei der Berechnung in der Klinik aber nicht berücksichtigt werden. Das präklinische Überschreiten der empfohlenen Höchstmenge an Infusionslösung, unabhängig von der Ausdehnung der Verbrennung, überrascht. Gründe dafür mögen das verbreitete Wissen über den Flüssigkeitsverlust nach großflächiger Verbrennung, kombiniert mit einer vergleichsweise kurzen Transportdauer sein. Erfreulich ist der häufige Einsatz von Analgetika, obwohl nur bei der Hälfte der Kinder ein Schmerz-Score dokumentiert war. Da ein Zugang zum Gefäßsystem nur bei etwas mehr als der Hälfte der Kinder vorlag, wurden alternative Applikationswege (intranasal, rektal) häufig genutzt. Unterschiedliche Einschätzungen der Ausdehnung oder des Schweregrads der Verbrennungen von Mädchen und Jungen wurden nicht festgestellt. Ob der Trend zur Überinfusion oder der seltenere Einsatz wirksamer Analgetika bei Mädchen eine systematische Ungleichbehandlung signalisiert, müssen künftige Untersuchungen zeigen.

7 Literaturverzeichnis

1. James SL, Lucchesi LR, Bisignano C, Castle CD, Dingels ZV, Fox JT, et al. Epidemiology of injuries from fire, heat and hot substances: global, regional and national morbidity and mortality estimates from the Global Burden of Disease 2017 study. *Injury Prevention*. 2020;26(Suppl 2):i36-i45.
2. Forjuoh S, Gielen A. Chapter 4. Burns. In: Peden M, Oyegbite K, Ozanne-Smith J, Hyder AA, Branche C, Fazlur R, et al., editors. *World report on child injury prevention: World Health Organisation*; 2008. p. 79-94.
3. Elrod J, Schiestl CM, Mohr C, Landolt MA. Incidence, severity and pattern of burns in children and adolescents: An epidemiological study among immigrant and Swiss patients in Switzerland. *Burns*. 2019;45(5):1231-41.
4. Smolle C, Cambiaso-Daniel J, Forbes AA, Wurzer P, Hundeshagen G, Branski LK, et al. Recent trends in burn epidemiology worldwide: A systematic review. *Burns*. 2017;43(2):249-57.
5. Königs I, Fattouh M. Management thermischer Verletzungen im Kindesalter. *Notfallmedizin up2date*. 2017;12(01):95–111.
6. Hundeshagen G, Tapking C, Horter J. Erstversorgung und Intensivmedizin Schwerbrandverletzter. *Intensivmedizin up2date* 2018;14(3):283–301.
7. DESTATIS. Unfälle, Gewalt, Selbstverletzung. Ergebnisse der amtlichen Statistik zum Verletzungsgeschehen 2019. Schwerpunkt: Kinder und Jugendliche. Statistisches Bundesamt [Internet]. 2021 16/08/2021; Artikelnummer: 5230001197005. Available from: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Gesundheitszustand-Relevantes-Verhalten/Publikationen/Downloads-Gesundheitszustand/unfaelle-gewalt-kinder-tabellenband-xlsx-5230001.html>.
8. Staubach R, Mehlig U, Loff S. Thermische Verletzungen im Kindesalter. *Pädiatrie up2date*. 2021;16(2):123-44.
9. Tegtmeyer LC, Herrnstadt GR, Maier SL, Thamm OC, Klinke M, Reinshagen K, et al. Retrospective analysis on thermal injuries in children - Demographic, etiological and clinical data of German and Austrian pediatric hospitals 2006-2015 - Approaching the new German burn registry. *Burns*. 2018;44(1):150-7.
10. Ellerkamp, Lieber, Königs, Reichert, Möller, Striepling, et al. Behandlung thermischer Verletzungen im Kindesalter (Verbrennungen, Verbrühungen). AWMF online S2k-Leitlinie 006-128 [Internet]. 2015; (02/09/2021). Available from: <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/006-128>.
11. Hüging M, Rothe K. Das thermisch verletzte Kind - Erstversorgung und Behandlung. *Monatsschr Kinderheilkd*. 2017;165:817-32.
12. Lund CC, Browder NC. The estimation of areas of burns. *Surg Gynecol Obstet*. 1944;79:352–8
13. Jester A, Hoppe U. Präklinische Erstversorgung von Brandverletzten. *Trauma Berufskrankh*. 2008;10 [Suppl 3]:322–6.
14. Baartmans MG, de Jong AE, van Baar ME, Beerthuisen GI, van Loey NE, Tibboel D, et al. Early management in children with burns: Cooling, wound care and pain management. *Burns*. 2016;42(4):777-82.
15. Strobel AM, Fey R. Emergency care of pediatric burns. *Emerg Med Clin North Am*. 2018;36(2):441-58.
16. Pardesi O, Fuzaylov G. Pain management in pediatric burn patients: Review of recent literature and future firections. *J Burn Care Res*. 2017;38(6):335-47.

17. Hennes H, Kim MK, Pirralo RG. Prehospital pain management. *Prehosp Emerg Care.* 2005;9(1):32-9.
18. Jester I, Jester A, Demirakca S, Waag K-L. Notfallmanagement bei der Primärversorgung kindlicher Verbrennungen. *Intensivmed.* 2005;42:60-5.
19. Lechleuthner A, Schmidt-Barbo A, Bouillon B, Perbix W, Holzki J, Spilker G. Prehospital care of burns: an analysis of 3 years use of the emergency physician system (EPS) Cologne. *Burns.* 1993;19(2):153-7.
20. Goverman J, Bittner EA, Friedstat JS, Moore M, Nozari A, Ibrahim AE, et al. Discrepancy in initial pediatric burn estimates and its impact on fluid resuscitation. *J Burn Care Res.* 2015;36(5):574-9.
21. Parvizi D, Kamolz LP, Giretzlehner M, Haller HL, Trop M, Selig H, et al. The potential impact of wrong TBSA estimations on fluid resuscitation in patients suffering from burns: things to keep in mind. *Burns.* 2014;40(2):241-5.
22. Pham C, Collier Z, Gillenwater J. Changing the way we think about burn size estimation. *J Burn Care Res.* 2019;40(1):1-11.
23. Towner E, Scott I. Child injuries in context. In: Peden M, Oyegbite K, Ozanne-Smith J, Hyder AA, Branche C, Fazlur R, et al., editors. *World report on child injury prevention: World Health Organization; 2008.* p. 1-28.
24. Jeschke MG, Mlcak RP, Finnerty CC, Norbury WB, Przkora R, Kulp GA, et al. Gender differences in pediatric burn patients: does it make a difference? *Ann Surg.* 2008;248(1):126-36.
25. Sheckter CC, Kiwanuka H, Maan Z, Pirrotta E, Curtin C, Wang NE. Increasing ambulatory treatment of pediatric minor burns-The emerging paradigm for burn care in children. *Burns.* 2019;45(1):165-72.
26. Armstrong M, Wheeler KK, Shi J, Thakkar RK, Fabia RB, Groner JI, et al. Epidemiology and trend of US pediatric burn hospitalizations, 2003-2016. *Burns.* 2021;47(3):551-9.
27. Lee CJ, Mahendraraj K, Houg A, Marano M, Petrone S, Lee R, et al. Pediatric burns: A single institution retrospective review of incidence, etiology, and outcomes in 2273 burn patients (1995-2013). *J Burn Care Res.* 2016;37(6):e579-e85.
28. Ederer IA, Hacker S, Sternat N, Waldmann A, Salameh O, Radtke C, et al. Gender has no influence on mortality after burn injuries: A 20-year single center study with 839 patients. *Burns.* 2019;45(1):205-12.
29. Moehrlen T, Szucs T, Landolt MA, Meuli M, Schiestl C, Moehrlen U. Trauma mechanisms and injury patterns in pediatric burn patients. *Burns.* 2018;44(2):326-34.
30. Morrow SE, Smith DL, Cairns BA, Howell PD, Nakayama DK, Peterson HD. Etiology and outcome of pediatric burns. *J Pediatr Surg.* 1996;31(3):329-33.
31. Kraft R, Herndon DN, Al-Mousawi AM, Williams FN, Finnerty CC, Jeschke MG. Burn size and survival probability in paediatric patients in modern burn care: a prospective observational cohort study. *Lancet.* 2012;379(9820):1013-21.
32. Barrow RE, Przkora R, Hawkins HK, Barrow LN, Jeschke MG, Herndon DN. Mortality related to gender, age, sepsis, and ethnicity in severely burned children. *Shock.* 2005;23(6):485-7.
33. Saß A-C, Kuhnert R, Gutsche J. Unfallverletzungen im Kindes- und Jugendalter – Prävalenzen, Unfall- und Behandlungsorte, Mechanismen. *Ergebnisse aus KiGGS Welle 2 und Trends.* *Bundesgesundheitsbl.* 2019; 62:1174–83.
34. Trop M, Herzog SA, Pfurtscheller K, Hoebenreich AM, Schintler MV, Stockenhuber A, et al. The past 25 years of pediatric burn treatment in Graz and important lessons been learned. An overview. *Burns.* 2015;41(4):714-20.

35. Griffin BR, Frear CC, Babl F, Oakley E, Kimble RM. Cool running water first aid decreases skin grafting requirements in pediatric burns: A cohort study of two thousand four hundred ninety-five children. *Ann Emerg Med.* 2020;75(1):75-85.
36. Emond A, Sheahan C, Mytton J, Hollén L. Developmental and behavioural associations of burns and scalds in children: a prospective population-based study. *Arch Dis Child.* 2017;102(5):428-83.
37. Cheng W, Wang S, Shen C, Zhao D, Li D, Shang Y. Epidemiology of hospitalized burn patients in China: A systematic review. *Burns Open.* 2018;2:8-16.
38. Rawlins JM, Khan AA, Shenton AF, Sharpe DT. Epidemiology and outcome analysis of 208 children with burns attending an emergency department. *Pediatr Emerg Care.* 2007;23:289-93.
39. McCulloh C, Nordin A, Talbot LJ, Shi J, Fabia R, Thakkar RK. Accuracy of prehospital care providers in determining total body surface area burned in severe pediatric thermal injury. *J Burn Care Res.* 2018;39:491–6.
40. Ruan J, Xi M, Xie W. Analysis of 12,661 pediatric burns in Wuhan institute of burns: A retrospective study of fifteen years. *Burns.* 2021;47(8):1915-21.
41. Jordan KC, Di Gennaro JL, von Saint Andre-von Arnim A, Stewart BT. Global trends in pediatric burn injuries and care capacity from the World Health Organization Global Burn Registry. *Front Pediatr.* 2022;10:954995.
42. Riedlinger DI, Jennings PA, Edgar DW, Harvey JG, Cleland MH, Wood FM, et al. Scald burns in children aged 14 and younger in Australia and New Zealand-an analysis based on the Burn Registry of Australia and New Zealand (BRANZ). *Burns.* 2015;41(3):462-8.
43. Martens S, Romanowksi K, Palmieri T, Greenhalgh D, Sen S. Massive pediatric burn injury: A ten-year review. *J Burn Care Res.* 2021.
44. DESTATIS. Todesursachenstatistik. Statistisches Bundesamt [Internet]. 2022 08/01/2023; Statistik: 23211-0004. Available from: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1670577574019&code=23211#abreadcrumb>.
45. Rennekampff H-O. Behandlung thermischer Verletzungen des Erwachsenen. S2k - AWMF-Register [Internet]. 2021; 044-001: S. 1-88 pp. Available from: <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/044-001>.
46. Brusselaers N, Monstrey S, Vogelaers D, Hoste E, Blot S. Severe burn injury in europe: a systematic review of the incidence, etiology, morbidity, and mortality. *Critical Care.* 2010;14(5):R188.
47. Adams HA, Vogt PM. Die notfall- und intensivmedizinische Grundversorgung des Schwerbrandverletzten. *Anästh Intensivmed.* 2010;51:90-112.
48. Hoppe U, Klose R. Das Inhalationstrauma bei Verbrennungspatienten: Diagnostik und Therapie. *Intensivmed.* 2005;42(5):425-39.
49. Jeschke MG, Herndon DN. Burns in children: standard and new treatments. *Lancet.* 2014;383(9923):1168-78.
50. Fidkowski CW, Fuzaylov G, Sheridan RL, Coté CJ. Inhalation burn injury in children. *Paediatr Anaesth.* 2009;19 Suppl 1:147-54.
51. Van Yperen DT, Van Lieshout EMM, Verhofstad MHJ, Van der Vlies CH. Epidemiology of burn patients admitted in the Netherlands: a nationwide registry study investigating incidence rates and hospital admission from 2014 to 2018. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2022;48(3):2029–38.
52. Capek KD, Sousse LE, Hundeshagen G, Voigt CD, Suman OE, Finnerty CC, et al. Contemporary burn survival. *J Am Coll Surg.* 2018;226(4):453-63.

53. Bittner EA, Shank E, Woodson L, Martyn JA. Acute and perioperative care of the burn-injured patient. *Anesthesiology*. 2015;122(2):448-64.
54. Eich C, Sinnig M, Guericke M. Akutversorgung des brandverletzten Kindes - Rettung, Transport, Schockraum, Anästhesie, OP. *Notfall Rettungsmed*. 2014;17:113–22.
55. Hoffmann F, Deanovic D. Präklinische Schmerztherapie bei Kindern und Jugendlichen. *Notfall Rettungsmed*. 2011;14:549–53.
56. Holak A, Czapla M, Zielińska M. Pre-hospital pain management in children with injuries: A retrospective cohort study. *J Clin Med*. 2021;10(14).
57. Lönnecker S, Schoder V. Hypothermie bei brandverletzten Patienten – Einflüsse der präklinischen Behandlung. *Chirurg*. 2001;72(2):164-7.
58. Singer AJ, Taira BR, Thode HC, Jr., McCormack JE, Shapiro M, Aydin A, et al. The association between hypothermia, prehospital cooling, and mortality in burn victims. *Acad Emerg Med*. 2010;17(4):456-9.
59. Giretzlehner M, Dirnberger J, Owen R, Haller HL, Lumenta DB, Kamolz LP. The determination of total burn surface area: How much difference? *Burns*. 2013;39(6):1107-13.
60. Holm S, Engstrom O, Petaja I, Huss F. Does the estimation of burn extent at admission differ from the assessment at discharge? *Scars Burn Heal*. 2021;7:1-13.
61. Klein T, Kaufmann J, Wendenburg W, Boemers TM, Marathovouniotis N. Das brandverletzte Kind. *Notfall Rettungsmed*. 2019;22:313–21.
62. Chan QE, Barzi F, Cheney L, Harvey JG, Holland AJ. Burn size estimation in children: still a problem. *Emerg Med Australas*. 2012;24(2):181-6.
63. Cherukupalli A, Duan N, Papp A. A third of referrals are unnecessary: Critical review of burn outpatient clinic data. *Burns*. 2019;45(4):805-17.
64. Face S, Dalton S. Consistency of total body surface area assessment in severe burns: Implications for practice. *Emerg Med Australas*. 2017;29(4):429-32.
65. Jester I, Genzwürker H, Jester A, Demirakca S, Waag K-L. Notfallmanagement bei kindlichen Verbrennungen. *Notfall Rettungsmed*. 2006;9:227–38.
66. Wachtel TL, Berry CC, Wachtel EE, Frank HA. The inter-rater reliability of estimating the size of burns from various burn area chart drawings. *Burns*. 2000;26(2):156-70.
67. Wallace AB. The exposure treatment of burns. *The Lancet*. 1951;257(6653):501-4.
68. Jose RM, Roy DK, Vidyadharan R, Erdmann M. Burns area estimation-an error perpetuated. *Burns*. 2004;30(5):481-2.
69. Nagel TR, Schunk JE. Using the hand to estimate the surface area of a burn in children. *Pediatr Emerg Care*. 1997;13(4):254-5.
70. Berry MG, Evison D, Roberts AHN. The influence of body mass index on burn surface area estimated from the area of the hand. *Burns*. 2001;27(6):591-4.
71. Giretzlehner M, Ganitzer I, Haller H. Technical and medical aspects of burn size assessment and documentation. *Medicina*. 2021;57(3):242.
72. Murari A, Singh KN. Lund and Browder chart-modified versus original: a comparative study. *Acute Crit Care*. 2019;34(4):276-81.
73. Thom D. Appraising current methods for preclinical calculation of burn size - A pre-hospital perspective. *Burns*. 2017;43(1):127-36.
74. Landsleitner B, Keil J. Verbrennungen und Verbrühungen im Kindesalter. *Intensivmed Notfallmed*. 2015;110:346–53.
75. Sander F. Präklinische Versorgung brandverletzter Patienten. *Notfall Rettungsmed*. 2019;22:294–301.

76. Kopp R, Deilmann A, Limper U. Behandlung thermischer Verletzungen des Erwachsenen. Update der S2k-Leitlinie vom 01.02.2021. *Anaesthesist*. 2022;71:377-83.
77. McCann C, Watson A, Barnes D. Major burns: Part 1. Epidemiology, pathophysiology and initial management. *BJA Educ*. 2022;22(3):94-103.
78. WHO. Burns 2023: World Health Organisation/Newsroom/Fact sheets/Detail/Burns [Internet]. (17/11/2023) Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/burns>.
79. BfArM. Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte. ICD-10-WHO Version 2019 - Kapitel XIX [Internet]. (08/01/2023). Available from: <https://www.dimdi.de/static/de/klassifikationen/icd/icd-10-who/kode-suche/htmlamtl2019/block-t20-t25.htm>.
80. Tompkins RG. Survival of children with burn injuries. *Lancet*. 2012;379(9820):983-4.
81. Sheridan RL, Weber JM, Schnitzer JJ, Schulz JT, Ryan CM, Tompkins RG. Young age is not a predictor of mortality in burns. *Pediatr Crit Care Med*. 2001;2(3):223-4.
82. Hyland EJ, Holland AJA. Have we really decreased mortality due to severe burn injury in children? *Translational Pediatrics*. 2015;4(3):201-2.
83. Duke JM, Rea S, Boyd JH, Randall SM, Wood FM. Mortality after burn injury in children: A 33-year population-based study. *Pediatrics*. 2015;135(4):e903-e10.
84. König TT. Persönliche Mitteilung. Oberärztin der Klinik und Poliklinik für Kinderchirurgie, Universitätsmedizin Mainz. 23.11.2021.
85. Manning Ryan L, Costabile P, Ziegfeld S, Puett L, Turner A, Strockbine V, et al. Assessment of a quality improvement intervention to improve the consistency of total body surface area burn estimates between referring facilities and a pediatric burn center. *Burns*. 2019;45(8):1827-32.
86. Neuhauser H, Schienkiewitz A, Schaffrath-Rosario A, Dortschy R, Kurth B-M. Referenzperzentile für anthropometrische Maßzahlen und Blutdruck aus der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS). 2. erweiterte Auflage. Robert Koch-Institut; 2013; 30-1.
87. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;327(8476):307-10.
88. Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting Intraclass Correlation Coefficients for reliability research. *J Chiropr Med*. 2016;15(2):155-63.
89. Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement*. 1960;20(1):37-46.
90. Giavarina D. Understanding Bland Altman analysis. *Biochem Med*. 2015;25(2):141-51.
91. Cicchetti DV. Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychological Assessment*. 1994;6(4):284-90.
92. Lange B, Gottwald A, Wessel LM. Thermische Verletzungen im Kindesalter - Vom Management der Ersten Hilfe bis hin zu aktuellen Präventionsmaßnahmen. *Monatsschr Kinderheilkd*. 2018;166(8):683-9.
93. American Burn Association. Advanced Burn Life Support Course. Provider Manual 2018 Update [Internet]. (19/01/2023) Available from: <https://ameriburn.org/wp-content/uploads/2019/08/2018-abls-providermanual.pdf>.
94. Arbuthnot MK, Garcia AV. Early resuscitation and management of severe pediatric burns. *Semin Pediatr Surg*. 2019;28(1):73-8.

95. Krishnamoorthy V, Ramaiah R, Bhananker SM. Pediatric burn injuries. *International Journal of Critical Illness and Injury Science*. 2012;2(3):128–34.
96. Schriek K, Sinnig M. Thermische Verletzungen - Klinik und Akutmanagement in der pädiatrischen Praxis. *Hautarzt*. 2017;68:784–9.
97. Wagner BP. Temperaturregulationsstörungen im Kindesalter. Nur Feind oder auch Freund? *Monatsschr Kinderheilkd*. 2013;161:217-24.
98. Partain KP, Fabia R, Thakkar RK. Pediatric burn care: new techniques and outcomes. *Curr Opin Pediatr*. 2020;32(3):405-10.
99. Fairbrother H, Long M, Haines E. Optimizing emergency management to reduce morbidity and mortality in pediatric burn patients. *Pediatr Emerg Med Pract*. 2020;17(Suppl 6-2):1-51.
100. Yoo MJ, Pawlukiewicz AJ, Wray JP, Long BJ, Hunter CJ. Interrater agreement and reliability of burn size estimations between emergency physicians and burn unit. *J Burn Care Res*. 2021;42(4):721-6.
101. Hahn B, Roh SA, Price C, Fu W, Dibello J, Berwald N, et al. Estimates of total burned surface area by emergency department clinicians and burn specialists. *Cureus*. 2020;12(7):e9362.
102. Suman A, Owen J. Update on the management of burns in paediatrics. *BJA Educ*. 2020;20(3):103-10.
103. Davies M, Maguire S, Okolie C, Watkins W, Kemp AM. How much do parents know about first aid for burns? *Burns*. 2013;39(6):1083-90.
104. Demling RH, Mazess RB, Witt RM, Wolberg WH. The study of burn wound edema using dichromatic absorptiometry. *J Trauma*. 1978;18:124-8.
105. Vlachou E, Gosling P, Moiemmen NS. Microalbuminuria: a marker of endothelial dysfunction in thermal injury. *Burns*. 2006;32:1009-16.
106. Spelten O, Wetsch WA, Braunecker S, Genzwürker H, Hinkelbein J. Abschätzung des Substitutionsvolumens nach Verbrennungstrauma - Systematische Übersichtsarbeit über publizierte Formeln. *Anaesthesist*. 2011;60(4):303-11.
107. Baxter CR, Shires T. Physiological response to crystalloid resuscitation of severe burns. *Ann N Y Acad Sci*. 1968;150(3):874-94.
108. Tejiram S, Romanowski KS, Palmieri TL. Initial management of severe burn injury. *Curr Opin Crit Care*. 2019;25(6):647-52.
109. Daniels M, Fuchs PC, Lefering R, Grigutsch D, Seyhan H, Limper U, et al. Is the Parkland formula still the best method for determining the fluid resuscitation volume in adults for the first 24 hours after injury? - A retrospective analysis of burn patients in Germany. *Burns*. 2021;47(4):914-21.
110. Evans EI, Purnell OJ, Robinett PW, Batschelor A, Martin M. Fluid and electrolyte requirements in severe burns. *Ann Surg*. 1952;135(6):804-17.
111. Pisano C, Fabia R, Shi J, Wheeler K, Giles S, Puett L, et al. Variation in acute fluid resuscitation among pediatric burn centers. *Burns*. 2021;47(3):545-50.
112. Shah A, Pedraza I, Mitchell C, Kramer GC. Fluid volumes infused during burn resuscitation 1980-2015: A quantitative review. *Burns*. 2020;46(1):52-7.
113. Sadideen H, D'Asta F, Moiemmen N, Wilson Y. Does overestimation of burn size in children requiring fluid resuscitation cause any harm? *J Burn Care Res*. 2017;38(2):e546-e51.
114. Cuttle L, Kempf M, Liu P-Y, Kravchuk O, Kimble RM. The optimal duration and delay of first aid treatment for deep partial thickness burn injuries. *Burns*. 2010;36(5):673-9.

115. Harish V, Li Z, Maitz PKM. First aid is associated with improved outcomes in large body surface area burns. *Burns*. 2019;45(8):1743-8.
116. Djärv T, Douma M, Palmieri T, Meyran D, Berry D, Kloeck D, et al. Duration of cooling with water for thermal burns as a first aid intervention: A systematic review. *Burns*. 2022;48(2):251-62.
117. Reynolds SL, Bryant KK, Studnek JR, Hogg M, Dunn C, Templin MA, et al. Randomized controlled feasibility trial of intranasal Ketamine compared to intranasal Fentanyl for analgesia in children with suspected extremity fractures. *Academic Emergency Medicine*. 2017;24(12):1430-40.
118. Jamshidi R, Sato TT. Initial assessment and management of thermal burn injuries in children. *Pediatrics in Review*. 2013;34(9):395-403.
119. DESTATIS. Todesursachenstatistik 2021. Statistisches Bundesamt [Internet]. (08/01/2023). Available from: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Todesursachen/Publikationen/Downloads-Todesursachen/todesursachenstatistik-5232101217015.html>.

8 Anhang

Anhang 1: Untersuchte Parameter, Dokumentation in Excel und Kodierung der Variablen in SPSS (ggf. nach Transformation). k.A. = keine Angabe.

Parameter	Dokumentation Excel	Variable SPSS
Fallnummer	Fallnummer	Fallnummer
Geburtsdatum	Datum	Datum
Geschlecht	1 = weiblich, 2 = männlich	1 = weiblich, 2 = männlich
Unfalldatum	Datum	Datum
Unfallumstände	Freitext -999 = k.A.	1 = zu Hause/Freizeit 2 = Kita/Schule -999 = k.A.
Unfallhergang (Verletzungsursache)	Freitext -999 = k.A.	1 = Verbrühung 2 = Flammen 3 = Kontakt 4 = Sonstige -999 = k.A.
Erstmaßnahme	Freitext -999 = k.A.	1 = Wasser 2 = Sonstige 3 = keine -999 = k.A.
Sauerstoffsättigung, SpO ₂ (%)	Zahlenwert -999 = k.A.	Zahlenwert -999 = k.A.
Herzfrequenz (Schläge/min)	Zahlenwert -999 = k.A.	Zahlenwert -999 = k.A.
Systolischer Blutdruck (mmHg)	Zahlenwert -999 = k.A.	Zahlenwert -999 = k.A.
Diastolischer Blutdruck (mmHg)	Zahlenwert -999 = k.A.	Zahlenwert -999 = k.A.
Atemfrequenz (Atemzüge/Minute)	Zahlenwert -999 = k.A.	Zahlenwert -999 = k.A.
Körpertemperatur am Unfallort (°C)	Zahlenwert (1 Dezimalst.) -999 k.A.	Zahlenwert (1 Dezimalst.) -999 = k.A.
Bewusstsein Glasgow-Coma-Scale (GCS 0 – 15)	Freitext, Zahlenwert -999 = k.A.	Zahlenwert -999 = k.A.
Schmerzstärke (Numerische Rating Skala, NRS (0 – 10))	Zahlenwert -999 = k.A.	Zahlenwert -999 = k.A.
Körpergewicht (kg)	Zahlenwert -999 = k.A.	Zahlenwert -999 = k.A.
Verbrannte Körperoberfläche (vKOF) vor Ort geschätzt, in % der KOF (%)	Zahlenwert -999 = k.A.	Zahlenwert -999 = k.A.
Gruppierte vKOF vor Ort (%)	Zahlenwert -999 = k.A.	1 = ≤ 5 % 2 = 6 – 15 % 3 = > 15 % -999 = k.A.
Grad der Verletzung vor Ort	Grad 1 Grad 2, 2A, 2B Grad 3, Grad 1-2, 2-3, 2+3, 1+3 -999 = k.A.	1 = Grad 1 2 = Grad 2, 2A, 2B, 1-2, 1+2 3 = Grad 3, 2-3, 2+3, 1+3 -999 = k.A.
Lokalisation der Verbrennung	Freitext	1= Kopf, 0 = nicht Kopf 2 = Gesicht, 0 = nicht Ges. 3 = Rumpf, 0 = nicht Rum. 4 = Extremität(en), 0 = nicht Extremität -999 = k.A.

Kühlung durch Notarzt	Freitext	1 = Kühlung 0 = keine Kühlung -999 = k.A.
Wundabdeckung	Freitext	1 = Wunde abgedeckt 0 = nicht abgedeckt -999 = k.A.
Analgesedierung	Name des Medikaments	0 = kein Medikament 1 – 25 = Kombinationen aus NSAR, Paracetamol, Ketamin, Opioid, Sedativum, sonstige Med. -999 = k.A.
Analgesie-Regime	Name des Medikaments	0 = kein Medikament 1 = mit Ketamin 2 = mit Opioid (kein Keta.) 3 = schwache Analgetika 4 = nur Sedativum
Applikationsart der Medikamente	Freitext	1 = intravenös (i.v.) 2 = intraossär (i.o.) 3 = intranasal (i.n.) 4 = oral (p.o.) 5 = rektal -999 = k.A.
Infusion gesamt (ml)	Zahlenwert -999 = k.A.	Zahlenwert -999 = k.A.
Art der Infusion	Freitext	0 = keine Infusion 1 = Vollelektrolytlösung 2 = sonstige -999 = k.A.
Infusionsvolumen (ml/kg KG)	k.A.	Infusionsvolumen gesamt (ml)/Körpergewicht (kg)
Transportmittel	1 = Rettungswagen 2 = Rettungshubschrauber -999 k.A.	1 = Rettungswagen 2 = Rettungshubschrauber -999 k.A.
Zuweisung in Klinik	1 = primär 2 = sekundär	1 = primär 2 = sekundär
Körpertemperatur in der Klinik (°C)	Zahlenwert (1 Dezimalst.) -999 k.A.	Zahlenwert (1 Dezimalst.) -999 k.A.
Körpergewicht (kg)	Zahlenwert -999 = k.A.	Zahlenwert -999 = k.A.
Verbrannte Körperoberfläche (vKOF) in der Klinik, in % der KOF (%)	Zahlenwert -999 = k.A.	Zahlenwert -999 = k.A.
Gruppierte vKOF in der Klinik (%)	Zahlenwert -999 = k.A.	1 = ≤5 % 2 = 6 – 15 % 3 = > 15 % -999 = k.A.
Grad der Verbrennung in der Klinik	Grad 2, 2A, 2B, Grad 3 Grad 1-2, 2-3, 2+3, 1+3 -999 = k.A.	2 = Grad 2, 2A, 2B, 1-2, 1+2 3 = Grad 3, 2-3, 2+3, 1+3 -999 = k.A.
Dauer der Intensivbehandlung (Tage)	Zahlenwert (Arztbrief)	Zahlenwert
Behandlung auf Normalstation (Tage)	Zahlenwert (Arztbrief)	Zahlenwert
Gesamtbehandlungsdauer (Tage)	Zahlenwert (Arztbrief)	Zahlenwert

Anhang 2: Schema nach Lund und Browder [12] zur Bestimmung der Ausdehnung von Brandverletzungen. Abbildung aus [53].

**Burn Estimate and Diagram
Age and Area**

Initial evaluation*

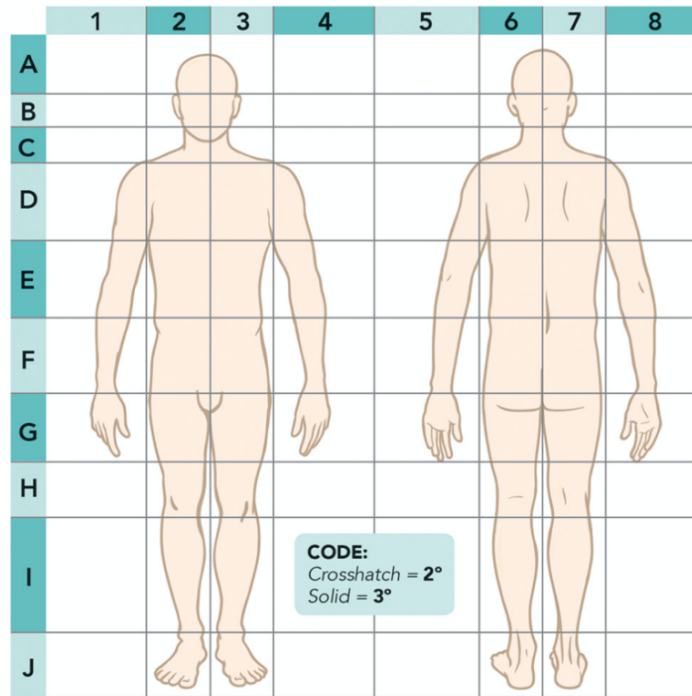
Signature: _____

Date of burn: _____

Date completed: _____

*To be completed by the admitting physician or Licensed Independent Practitioner on admission

This is a working burn estimate diagram only, and is not as accurate as photography.



Area	Birth-1 yr.	1-4 yrs.	5-9 yrs.	10-14 yrs.	15 yrs.	Adult	2°	3°	TOTAL
Head	9	17	13	11	9	7			
Neck	2	2	2	2	2	2			
Anterior trunk	13	13	13	13	13	13			
Posterior trunk	13	13	13	13	13	13			
Right buttock	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5			
Left buttock	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5			
Genitalia	1	1	1	1	1	1			
Right upper arm	4	4	4	4	4	4			
Left upper arm	4	4	4	4	4	4			
Right lower arm	3	3	3	3	3	3			
Left lower arm	3	3	3	3	3	3			
Right hand	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5			
Left hand	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5			
Right thigh	5.5	6.5	8	8.5	9	9.5			
Left thigh	5.5	6.5	8	8.5	9	9.5			
Right lower leg	5	5	5.5	6	6.5	7			
Left lower leg	5	5	5.5	6	6.5	7			
Right foot	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5			
Left foot	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5			
						TOTAL			

**Only 2° and 3° burns are included in the total TBSA burn percent

9 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Priv.-Doz. Dr. med. habil. Eva Wittenmeier für die Inspiration und Vermittlung des Themas, die kompetente wissenschaftliche Einschätzung und ihre kritischen Kommentare im Rahmen der Betreuung der Promotion.

Außerdem danke ich Frau Priv.-Doz. Dr. med. Tatjana König für die Bereitstellung der Dokumente und ihre hilfreichen Ratschläge.

Mein Dank gilt auch dem Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) der Universitätsklinik Mainz, für die geduldige Beratung bei statistischen Fragestellungen.

Bedanken möchte ich mich darüber hinaus bei den Studienassistenten des Klinischen Studienzentrums der Klinik für Anästhesiologie für die Unterstützung in organisatorischen Fragen.

Der größte Dank gilt meinen Eltern, die mich mit Liebe, Verständnis und guten Nerven von Kindesbeinen an gefördert haben. Ohne ihre geduldige Ermunterung wären mein beruflicher Werdegang und damit diese Dissertation kaum möglich gewesen.