

Notfall Rettungsmed 2026 · 29:157–171
<https://doi.org/10.1007/s10049-026-01704-x>

Eingegangen: 15. Januar 2025

Angenommen: 8. Januar 2026

Online publiziert: 13. Februar 2026

© The Author(s), under exclusive licence to Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2026

Wissenschaftliche Leitung

J. Breckwoldt, Zürich

M. Christ, Luzern

E. Diehl-Wiesenecker, Berlin

E. Heimberg, Tübingen

G. Matthes, Potsdam

R. Somasundaram, Berlin

U. Zeymer, Ludwigshafen



CME

Zertifizierte Fortbildung

Erstversorgung von Verbrennungen

Larissa Kölsch¹ · Mauro Vasella² · Alexander Kaserer³ · Linda Gutzler⁴

¹ Institut für Anästhesiologie, Schulthess Klinik, Zürich, Schweiz

² Klinik für Plastische und Handchirurgie, Zürich, Schweiz

³ Institut für Anästhesie und perioperative Medizin, Universitätsspital Zürich, Zürich, Schweiz

⁴ Institut für Anästhesie und perioperative Medizin, Universitätsspital Zürich, Zürich, Schweiz

Zusammenfassung

Beim Management von Verbrennungspatienten ist das Verständnis der Pathophysiologie von Verbrennungen für eine maßgeschneiderte Behandlung und Verbesserung des Outcomes unerlässlich. Zu den wichtigen Faktoren, die die Behandlung beeinflussen, gehören u. a. der Traumamechanismus und die Ausdehnung der Verbrennung. Verbrennungspatienten erleiden zudem oft Begleittraumata und systemische Reaktionen, die zu schwerwiegenden Komplikationen führen. Die rechtzeitige Überweisung in ein spezialisiertes Verbrennungszentrum, ein angemessenes Atemwegs- und Flüssigkeitsmanagement, eine gezielte Gerinnungstherapie sowie eine interdisziplinäre Zusammenarbeit sind Schlüsselfaktoren, um die Versorgung entscheidend beeinflussen zu können. Die präklinische Versorgung spielt eine essenzielle Rolle, insbesondere in Bezug auf das Atemwegs- und Flüssigkeitsmanagement, einschließlich einer frühzeitigen Intubation bei Gesichtsverbrennungen oder Inhalationstrauma.

Schlüsselwörter

Elektrische Verbrennungen · Inhalationstrauma · ABSI-Score · Verbrennungsstationen · Multidisziplinäres Versorgungsteam

Online teilnehmen unter:
www.springermedizin.de/cme

Für diese Fortbildungseinheit
werden 3 Punkte vergeben.

Kontakt

Springer Medizin Kundenservice

Tel. 0800 77 80 777

(kostenfrei in Deutschland)

E-Mail:

kundenservice@springermedizin.de

Informationen

zur Teilnahme und Zertifizierung finden

Sie im CME-Fragebogen am Ende des

Beitrags.

Lernziele

Nach der Lektüre dieses Beitrags

- kennen Sie die Indikationen für Behandlungen in Verbrennungszentren.
- können Sie zwischen den verschiedenen Verbrennungsgraden unterscheiden.
- können Sie das Ausmaß einer Verbrennung einschätzen.
- kennen Sie die wichtigen, präklinischen Erstmaßnahmen bei Verbrennungen.
- kennen Sie die wichtigsten Organbeteiligungen bei einem Elektrotrauma.

Alarmierung der Flugrettung: Ein 20-Jähriger sei auf einen stillstehenden Waggon eines Zuges geklettert. Dabei sei ein Lichtbogen entstanden und der Patient aus 5 m Höhe vom Zug gestürzt.

Bei Eintreffen des Rettungsdienstes erfolgt die strukturierte Untersuchung des Patienten nach ABCDE-Schema. Aufgrund des Sturzes wird besonderes Augenmerk auf ein mögliches Schädel-Hirn-Trauma oder mögliche andere Verletzungen von Thorax, Abdomen, Becken und Oberschenkel gelegt. Dabei zeigt sich der Patient, abgesehen von einigen Riss-Quetsch-Wunden, hämodynamisch stabil mit einem Wert von 15 auf der Glasgow Coma Scale. Er weist Verbrennungen am Thorax sowie v. a. der rechten oberen Extremität auf.

Präklinisch erhält der Patient einen Venenzugang zur Volumengabe, und die HWS wird immobilisiert. Aufgrund fehlender Verbrennungen im Gesicht und fehlendem Hinweis auf ein Inhalationstrauma wird er präklinisch nicht intubiert. Er wird mithilfe des EKG und einer Blutdruckmanschette überwacht, es wird ein 12-Kanal-EKG zum Ausschluss kardialer Ischämien geschrieben, und wegen des Elektrotraumas werden vorsichtshalber noch Defibrillator-Pads geklebt. Vor Abflug des Rettungshubschraubers beträgt die Körpertemperatur des Patienten 36,7 °C. Während des Fluges erfolgt die Anmeldung im Schockraum des Verbrennungszentrums.

Einleitung

Schwere Verbrennungen sind traumatische Verletzungen, die das Leben von Menschen auf dramatische Art verändern können. Sie können zu erheblichen Haut- und Gewebeschäden führen, die nicht nur physisch, sondern auch emotional belastend sind. Eine angemessene Behandlung und Pflege von Verbrennungen sind maßgebend, um die Genesung zu fördern und mögliche Komplikationen zu minimieren. Dieser CME-Beitrag bietet eine umfassende Untersuchung der verschiedenen Aspekte von Verbrennungsverletzungen, einschließlich ihrer Schweregradklassifikation, Behandlungsmethoden und Prognosefaktoren.

Definition und Epidemiologie

Als Verbrennung bezeichnet man eine **thermische Schädigung** von Gewebe, die durch direkte Einwirkung von Flammen, Gasen, ionisierender Strahlung (Sonne, iatrogen), heißen Stoffen oder heißen Kontaktflächen, Explosionen, Reibung oder elektrischem Strom entstehen kann [1, 2, 3]. Auch chemische Substanzen wie Säuren oder Basen können **Verätzungen** durch eine chemische Reaktion verursachen. Schäden, die durch heiße Flüssigkeiten oder heißen Dampf verursacht wurden, werden als **Verbrühungen** bezeichnet. Diese können die gleichen Verbrennungsgrade und -tiefen wie



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Primary treatment of burns

Understanding the pathophysiology of burns is essential for a tailor-made treatment and improvement of patient outcome. Important factors influencing treatment include the mechanism of trauma and the extent of the burn. In addition, burn patients often suffer concomitant trauma and systemic reactions that can lead to severe complications. The timely referral to a specialized burn center, appropriate airway and fluid management, targeted coagulation treatment and interdisciplinary collaboration are key factors in being able to have a decisive influence on treatment. Prehospital care plays an essential role, particularly in relation to airway and fluid management, including early intubation for facial burns or inhalation trauma.

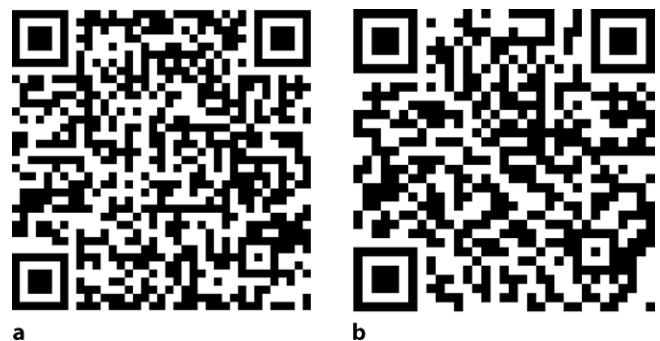
Keywords

Burns, electric · Burns, inhalation · ABSI score · Burn units · Multidisciplinary care team

Verbrennungen erzielen. Durch ein **Verbrennungstrauma** wird die Hautbarriere unterbrochen, was zu einer sofortigen Funktionseinschränkung führt und den Patienten gegenüber Dehydratation, Infektionen, Temperaturverlust und metabolischen Störungen empfindlicher macht [4]. Folgen von Verbrennungsverletzungen können langwierige, im Extremfall sogar lebenslange physische und oft auch psychische Beeinträchtigungen sein.

Gemäß WHO gibt es pro Jahr ungefähr 11 Mio. Verbrennungspatienten, wovon 180.000 an den Verbrennungen versterben [4, 5]. Inzidenz, Ätiologie und das Outcome der Patienten sind durch den Entwicklungsstatus der Länder geprägt [5]. In reichen Ländern fällt die Inzidenz von Verbrennungsunfällen [3]. Insgesamt sinken weltweit zwar die Komplikationen, die Zahl der Verbrennungspatienten nimmt jedoch insgesamt zu. Dadurch entstehen neue Herausforderungen wie die **posttraumatische Behandlung**, das Management von Narben und die Therapie psychischer Probleme wie z. B. einer posttraumatischen Belastungsstörung (PTBS, [4]). Die **Mortalität** von Verbrennungspatienten ist ebenfalls abhängig von dem jeweiligen Land, in dem der Unfall passiert ist [3].

Nach Angaben der Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) erlitten 2020 knapp 8000 Patienten in der Schweiz Verbrennungsverletzungen [6]. Die häufigsten Verletzungsmechanismen waren mit 60 % Verbrühungen oder Kontaktverbrennungen. Zu den weiteren Mechanismen gehörten Feuer, Gas und Erfrierungen. Die meisten Unfälle mit Feuer wurden als **Freizeitunfälle** (70 %) und ein Drittel als **Arbeitsunfälle** registriert. Insgesamt wurden knapp 290 Pati-



Abbb. 1 ▲ QR-Codes zu den Websites mit den Verbrennungszentren in Deutschland (a, [7]) und Europa (b, [8])

Bei Schockraumankunft ist der Patient weiterhin hämodynamisch und neurologisch stabil. Die Eintrittstemperatur beträgt 36,2 °C. Aufgrund des Sturzes erfolgt sofort eine Ganzkörper-Computertomographie, um mögliche weitere Verletzungen schnell zu entdecken. Es zeigen sich keine Traumafolgen, und die HWS wird freigegeben. Es wird die Indikation für das Verbrennungsbad mit Débridement und Escharotomie gestellt. Dafür wird der Patient intubiert und erhält sowohl einen zentralen Venen- als auch einen arteriellen Katheter. Ebenfalls erhält er weitere periphere Zugänge in möglichst nichtverbrannter Haut sowie einen Dauerkatheter mit Temperatursonde zur kontinuierlichen Temperaturmessung und Flüssigkeitsüberwachung. Währenddessen erfolgt aktives Erwärmen mithilfe eines Warmluftgebläses und warmer Infusionslösungen. Danach geht es in das sog. Eintrittsbad.

enten mit schwersten Verbrennungen in einem der 3 Schweizer Zentren für Schwerbrandverletzte behandelt, wobei 210 Patienten im Universitätsspital Zürich und im Centre hospitalier universitaire vaudois (CHUV) versorgt wurden [6] und durchschnittlich ungefähr 89 Kinder/Jahr im Kinderspital Zürich [5]. Kinder erlitten in rund 80 % der Fälle Verbrühungen mit heißem Wasser [6].

In Deutschland betragen die Inzidenzen leichter Verbrennungen etwa 600/100.000 Einwohner und Jahr und die schwerer Verbrennungen 1/50.000 bis 1/60.000 Einwohner jährlich. Der Altersgipfel findet sich 59,5 % in der Altersgruppe der 20- bis 59-Jährigen. Kinder unter 10 Jahren sind in 9,7 % der Fälle betroffen. Laut der S2k-Leitlinie des Jahres 2021 ist die häufigste Ursache mit 52 % die **direkte Flammeneinwirkung**, gefolgt von Verbrühungen mit einem Anteil von 23 %. Der Großteil der Verbrennungsverletzungen (65,4 %) ereignet sich im häuslichen Umfeld, während 21,4 % berufsbedingt auftreten. Verkehrsunfälle sind mit lediglich 1,8 % als Ursache vergleichsweise selten [2].

Eine Übersicht der **Verbrennungszentren** in Deutschland und Europa findet sich hinter den QR-Codes in **Abb. 1**.

Der Schweregrad des thermischen Schadens hängt sowohl von der jeweiligen **Temperatur** als auch von der **Expositionsdauer** ab. Zelluläre Schäden können je nach Expositionsdauer bereits ab einer Temperatur von 45 °C auftreten [2]. Je höher die Temperatur, umso geringer ist die benötigte Dauer, um einen Schaden zu verursachen [9].

Bei großflächigen Verbrennungen > 20 % verbrannter Körperoberfläche (VKOF) handelt es sich nicht mehr nur um eine lokale Schädigung, sondern es kann zur **Verbrennungskrankheit** kommen [10]. Diese reicht von einer Kreislaufreaktion bis hin zum Schock, von einer systemischen Entzündungsreaktion bis hin zur Sepsis und kann im Multiorganversagen enden [2]. Neben sichtbaren Verletzungen können auch **eingeatmete Rauchgase** entsprechende Reaktionen und Schäden verursachen.

Pathophysiologie des Verbrennungstraumas

Unabhängig von der initialen Ursache bewirkt ein Verbrennungsunfall innerhalb weniger Stunden einen massiven Zelluntergang [11] und löst eine extrem dysregulatorische, inflammatorische Reaktion aus [3]. Einerseits entstehen **lokale Schädigungen** am Ort der Verbrennung, andererseits kann es auch an nichtbetroffenen Körperstellen zu einer Reaktion kommen [11]. Faktoren, die die

Stärke der **dysregulatorischen Reaktion** beeinflussen, sind der Schweregrad der Verbrennung mit Größe und Tiefe der Verletzung. Des Weiteren zählen hierzu die ursprüngliche Ursache des Traumas, ob ein begleitendes Inhalationstrauma oder andere Begleitverletzungen vorliegen, ob der Patient Toxinen exponiert war sowie individuelle Faktoren wie das Alter des Patienten, bereits bestehende Vorerkrankungen, eine Drogen- oder Alkoholintoxikation zum Zeitpunkt des Unfalls und wie viel Zeit verstrichen ist, bis Erste Hilfe geleistet wurde [3].

Mikrovaskuläre Verletzungen, ausgelöst durch inflammatorische Marker wie Histamin, haben einen **Proteinverlust** ins Interstitium zur Folge. Dadurch fällt der intravaskuläre kolloidonkotische Druck, wodurch Flüssigkeit in das Interstitium wandert und das intravaskuläre Volumen sinkt. Klinisch präsentiert sich dies in Form einer **Hypovolämie** mit einer Hämokonzentration und gleichzeitigem Auftreten von **Ödemen**, einer reduzierten Urinproduktion und kardiovaskulärer Dysfunktion [12]. Der Verlust von intravaskulärer Flüssigkeit in verbranntes Gewebe und die Ödembildung in unverbrannten Bereichen können schnell zum **Verbrennungsschock** mit eingeschränkter Gewebs- und Organperfusion führen [11].

Die Verbrennungskrankheit wird oft in folgende 3 Phasen unterteilt [10, 13]:

- Schockphase (Notfall- oder Initialphase),
- Phase der Ödemrückbildung (Rückresorptionsphase),
- Phase der Inflammation und möglichen Infektion.

Je nach Literatur wird der Verlauf der Verbrennungskrankheit nach Abschluss der Schockphase auch als **hypermetabole Phase** bezeichnet; diese kann mehrere Jahre nach dem Traumaeintritt anhalten [3, 11].

Schockphase

Die Schockphase zeichnet sich dadurch aus, dass es sich primär um einen **Volumenmangelschock** handelt, da es sofort zu einer lokalen Störung der Kapillarpermeabilität mit Leckage kommt [13]. Ab einer VKOF > 20 % entsteht ein generalisiertes Kapillarleck mit generalisiertem Verbrennungsödem durch die Freisetzung von Entzündungsmediatoren [10, 13]. Durch den Verlust von Proteinen in den Extravasalraum setzt gleichzeitig ein osmotisch bedingter Ausstrom von Wasser ein [13]. Dieser Eiweißverlust ist in den ersten 8 h nach dem Traumaereignis am größten. Das Ödem lässt sich klinisch bereits ab der zweiten bis dritten Stunde nach dem Traumaereignis erkennen und erreicht seinen Höhepunkt nach 12–24 h [10, 13]. Der Flüssigkeitsverlust verhält sich proportional zur Ausdehnung der VKOF. Neben der Ausbildung eines interstitiellen Ödems kommt es durch die Bildung von Brandblasen ebenfalls zum Verlust plasmaähnlicher Flüssigkeit. Über die verbrannte Haut verdunstet viel Flüssigkeit, wenn die Epidermis (die oberste Hautschicht) stark geschädigt ist oder komplett fehlt. Aufgrund dieses **multifaktoriellen Flüssigkeitsverlusts** droht v.a. während der ersten 24 h nach einem Trauma eine intravasale Hypovolämie mit Hypotonie [10]. Der verbrennungsinduzierte Volumenverlust entsteht ohne Verlust roter Blutkörperchen, weshalb es initial zu einer **Hämokonzentration** kommt. Um die Gewebsperfusion zu

Die erste Operation dauert mehrere Stunden. Nach Entfernung der verbrannten Hautschichten zeigt sich folgendes Ausmaß der Verbrennungen:

- Thorax ventral und dorsal jeweils 13 % Grad III
- Oberarm rechts und links jeweils 4 % Grad III
- Unterarm rechts 2,5 % Grad III
- Hand rechts 2,5 % Grad III

Dies ergibt insgesamt eine VKOF von 39 %.

Postoperativ wird der Patient zur weiterführenden Versorgung intubiert auf die spezialisierte Verbrennungsintensivstation verbracht; dort erfolgen die weitere Stabilisierung und Therapie.

erhalten sowie die **Ischämie** und **inflammatorische Reaktionen** zu minimieren, besteht die primäre Therapie in der Volumengabe [11].

Rückresorptionsphase

Die initial deutlich erhöhte Kapillarpermeabilität beginnt sich nach ungefähr 24 h zu normalisieren. Dies geschieht meistens über 2 bis 3 Tage [10]. Die Rückbildung interstitieller Ödeme dauert hingegen eine bis 3 Wochen [10] und erfolgt durch einen **gesteigerten Lymphabfluss** [13]. Die Dauer der Rückresorption ist abhängig von der **Nierenfunktion** [10] und intakten Lymphbahnen, weshalb bei zweitgradigen Verbrennungen die Ödemrückbildung, durch weniger zerstörte Lymphbahnen, deutlich kürzer ist im Vergleich zu drittgradigen Verbrennungen [13]. Die Ödemrückresorption kann mit einer akuten **intravasalen Hypervolämie** mit **Elektrolytentgleisung** einhergehen. Davon besonders gefährdet sind kardiozirkulatorisch instabile Patienten oder Patienten mit entsprechenden Vorerkrankungen [13].

Phase der Inflammation und Infektion

Das bei den Patienten oft bereits initial auftretende „systemic inflammatory response syndrome“ (SIRS) durch das Verbrennungstrauma geht nach der ersten Woche wegen der Entwicklung von Infektionen häufig in eine **Sepsis** über. Als primäre Ursache des SIRS gilt die Unterdrückung sowohl der zellulären als auch der humoralen Immunabwehr durch das Verbrennungstrauma selbst [10, 13]. Dies wird oft als „**first hit**“ bezeichnet. Der „**second hit**“ entsteht dann häufig durch Hypotension und Blutverlust im Rahmen der lebensnotwendigen Operationen [13].

Als Eintrittspforte für **bakterielle Erreger** gelten bei Verbrennungspatienten in erster Linie die **großen Wundflächen**. Bei beatmeten Patienten oder Patienten mit zusätzlichem Inhalationstrauma kommen Pneumonien oder ausgeprägte **bakterielle Superinfektionen** im Bereich der geschädigten Lunge hinzu [10]. Zusätzlich können **Katheterinfektionen** (z.B. Infektion eines liegenden zentralen Venenkatheters oder eines Blasenkatheters, [1]) oder Translokationen aus dem Gastrointestinaltrakt Bakteriämien mit einer konsekutiven Sepsis auslösen [10, 13].

Im Rahmen der Inflammationsphase treten oft auch metabolische Veränderungen mit typischerweise vorkommenden **Hyperglykämien** auf, die ebenfalls Wundinfektionen begünstigen [10].

Ungefähr 7 bis 10 Tage nach einem Verbrennungstrauma muss von einer bakteriellen Besiedelung der Verbrennungswunden ausgegangen werden. Vor allem sind **grampositive Erreger** wie z.B. Staphylokokken, z.T. Methicillin-resistenter *Staphylococcus aureus* (MRSA), nachweisbar. Häufig entwickelt sich auch eine **Wundinfektion mit gramnegativen Bakterien** wie *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* oder Klebsiellen. Aufgrund der oft unterdrückten Immunantwort gelten Verbrennungspatienten als immunsupprimiert, was auch mit **Pilzinfektionen** einhergehen kann [10].

Die Diagnosestellung einer Sepsis ist bei Verbrennungspatienten oft erschwert, da die sonst auf Intensivstation verwendeten Parameter zur Bestimmung einer Infektion oder Sepsis bei dieser speziellen Patientenklintel oft ungenau sind. Aufgrund einer bereits bestehenden erhöhten Stoffwechsellaage liegen bei vielen Patienten eine erhöhte Körpertemperatur, eine Tachykardie und schwankende Leukozytenzahlen vor. Somit braucht es bei Verbrennungspatienten eindeutige Kriterien zur Diagnosestellung einer Infektion oder Sepsis. Dazu gehören sinkende Thrombozytenzahlen, eine plötzlich auftretende Ernährungsintoleranz oder Beatmungsveränderungen, eine sinkende Urinproduktion oder eine Acidose [1]. Eine prophylaktische Antibiotikatherapie, die ohne Veränderungen der oben genannten Parameter verabreicht wird, verhindert keine Infektionen, sondern fördert die Kolonisation mit resistenten Erregern [1, 10]. Die einzige Ausnahme für eine prophylaktische Antibiotikatherapie stellt die Anwendung vor geplanten Operationen dar [12].

Das **septische Multiorganversagen** stellt auch heutzutage noch die führende Todesursache Schwerbrandverletzter dar [10, 13, 14].

Abschätzen des Verbrennungsausmaßes

Das möglichst genaue Abschätzen der **Verbrennungstiefe** und der **verbrannten Körperoberfläche** (VKOF) spielt für die weitere Versorgung und die Notwendigkeit chirurgischer Maßnahmen eine zentrale Rolle.

Verbrennungen werden in folgende 4 Hauptgrade unterteilt ([1, 2, 4, 10, 13, 15, 16]; Abb. 2):

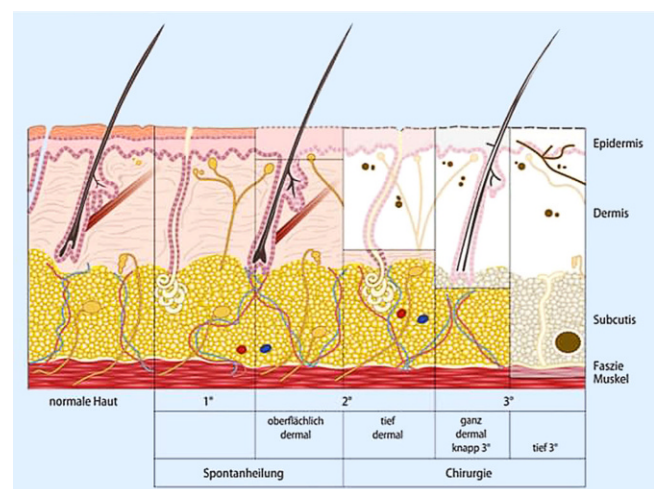


Abb. 2 ▲ Schematische Einteilung der Verbrennungstiefe, Grade I–III. (Aus Bergmann und Siemers [34])

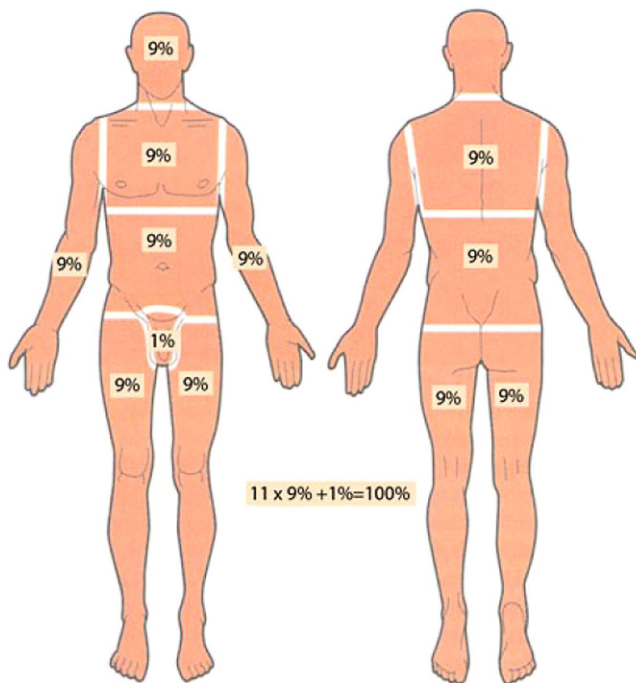


Abb. 3 ▲ Neunerregel nach Wallace. (Aus Pallua und Low [18])

Grad I. Bei Verbrennungen 1. Grades ist nur die äußerste Hautschicht, die **Epidermis**, betroffen. Die Haut ist gerötet, schmerzhaft und kann anschwellen. Diese Art von Verbrennung heilt normalerweise ohne Narbenbildung. Ein Beispiel ist der **Sonnenbrand**.

Grad II. Bei Verbrennungen 2. Grades sind sowohl die Epidermis als auch Teile der darunterliegenden Hautschicht, der **Dermis**, betroffen. Blasenbildung, Rötung, Schmerzen und Schwellung sind charakteristisch. Weiter wird zwischen Grad IIa (oberflächlich dermal) und IIb (tief dermal) unterschieden. Verbrennungen vom Typ IIa zeichnen sich durch einen gut durchbluteten **rosafarbenen Wundgrund** aus, der sich bei Druck mit dem Glasspatel vorübergehend weiß verfärbt (intakte Rekapillarisation). Bei tief dermalen Verbrennungen vom Typ IIb hingegen besteht ein **nichtwegdrückbares Erythem** mit weißen Bezirken und einer reduzierten Anzahl der Hautanhangsgebilde, wie beispielsweise Haaren. In der Mehrzahl der Fälle heilt eine Grad-IIa-Verletzung spontan und ohne Narbenbildung ab. Hingegen benötigt eine Grad-IIb-Verletzung eine **chirurgische Abtragung** des verbrannten Gewebes, und es bleiben Narben.

Grad III. Drittgradige Verbrennungen betreffen sowohl die Epidermis als auch die komplette Dermis und können die Haut weiß-gelblich oder schwarz erscheinen lassen. Sie sind oft schmerzlos, da die Nervenenden zerstört sind. Dementsprechend braucht es eine chirurgische Behandlung (z. B. **Hauttransplantation**), da eine Spontanheilung nicht möglich ist.

Grad IV. Viertgradige Verbrennungen gehen über die Haut hinaus und betreffen **tiefe Gewebeschichten** wie Muskeln, Knochen oder Sehnen. Die betroffene Haut kann schwarz oder verkohlt sein. Diese

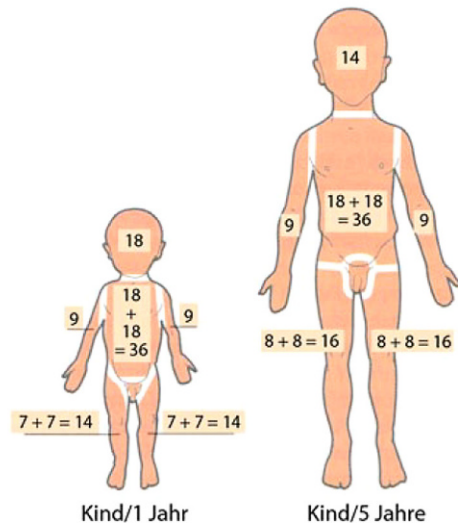


Abb. 4 ▲ Neunerregel nach Wallace bei einjährigem und fünfjährigem Kind. (Aus Pallua und Low [18])

äußerst **schwerwiegenden Verletzungen** erfordern sofortige medizinische Versorgung.

Merke.

- Grad I: Rötung, keine Blasen, sehr schmerzhaft.
- Grad IIa: Blasenbildung, teilweise noch stark schmerzhaft, Wundgrund rosig, Rekapillarisation vorhanden.
- Grad IIb: Blasenbildung, leicht schmerzhaft, teilweise schmerzlos, Wundgrund blass, Rekapillarisation stark verlangsamt oder fehlend.
- Grad III: trockene Wunde, keine Schmerzen, oft ohne Haare.
- Grad IV: Verkohlung, keine Schmerzen.

Um präklinisch eine schnelle Einschätzung der VKOF zu erreichen, hat sich die **Neunerregel** nach Wallace als nützliches Instrument herausgestellt ([2, 3, 4, 13, 14]; Abb. 3). Sie teilt die KOF in verschiedene Bereiche auf, von denen jeder 9% der Gesamtoberfläche ausmacht. Die Berechnung erfolgt mithilfe der Vielfachen der Zahl 9, wodurch die Bestimmung des prozentualen Anteils der VKOF erleichtert wird. In die Berechnung der VKOF werden nur Verbrennungen ab dem Grad II einbezogen [13].

Bei Kindern ist der Kopf im Verhältnis zum restlichen Körper größer als bei Erwachsenen, wodurch die Neunerregel entsprechend angepasst wird ([4, 13, 14]; Abb. 4).

Bei kleineren Flächen oder fleckig verteilten Verbrennungen empfiehlt es sich, die **Handflächenregel** anzuwenden ([2, 4, 10, 14]; Abb. 5). Die palmare Handfläche, einschließlich der Finger des Patienten, entspricht ungefähr 1% der KOF. Bei einer sehr großflächigen VKOF können die unverbrannten Hautpartien mithilfe der Neunerregel oder der Handflächenregel berechnet und von der gesamten KOF abgezogen werden.

Oft wird das Ausmaß der VKOF in präklinischen Situation überschätzt. Dies ist meist der Schwierigkeit einer korrekten Einschätzung bei fehlender Erfahrung am Unfallort geschuldet. Weiter ist eine korrekte Einschätzung des Verbrennungsgrades dadurch erschwert, dass es je nach dem Traumamechanismus zum „Nach-

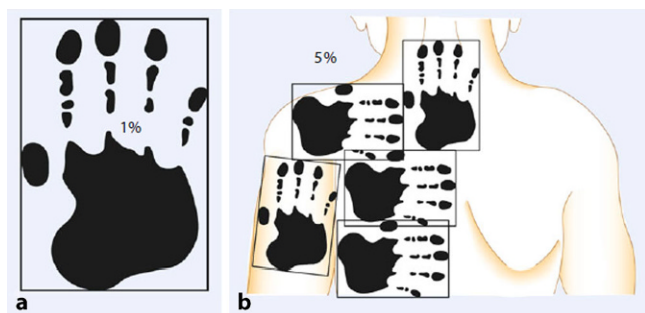


Abb. 5 ▲ Handflächenregel: **a** Die Fläche der Hand des betroffenen Patienten entspricht 1 % seiner Körperoberfläche. **b** Die dargestellte Fläche auf der Rückseite des Rumpfes entspricht etwa 5 % der Körperoberfläche. (Aus Siemers und Bergmann [19])

tiefer“ kommen kann, da die Schädigung im Gewebe weiter voranschreitet; dies ist häufig bei Verbrühungen der Fall.

Präklinische Triage

Die präklinische Versorgung von Verbrennungspatienten spielt eine entscheidende Rolle bei der Maximierung der Chancen auf eine erfolgreiche Genesung und der Vermeidung potenziell lebensbedrohlicher Komplikationen. Die Anwendung des **ABCDE-Schemas** gewährleistet eine strukturierte Priorisierung von Patienten im lebensbedrohlichen Zustand und stellt gleichzeitig sicher, dass keine relevanten Parameter übersehen werden.

Eine unmittelbare Verlegung von der Notfallstelle in ein Verbrennungszentrum ist nicht in jedem Fall angezeigt (**Infobox 1**), insbesondere wenn eine **zeitkritische Erstversorgung**, etwa bei einer nur chirurgisch zu beherrschenden Blutung, vorrangig in einem regionalen oder überregionalen Traumazentrum erfolgen muss. Nach dem ABCDE-Schema haben stets die Sicherung und Stabilisierung der **Vitalfunktionen** oberste Priorität vor der Versorgung der Verbrennungswunden. Besonders in den Nachtstunden, wenn die Luftrettung je nach Land ggf. nicht verfügbar ist oder aufgrund Wetterbedingungen nicht fliegen kann, stellt eine sekundäre Verlegung in ein Verbrennungszentrum nach initialer Stabilisierung die für den Patienten beste Variante dar [1, 2, 21, 22].

Therapieansätze von der präklinischen Situation bis zur Klinik

Bei allen Verbrennungen gilt, dass auf den **Eigenschutz** geachtet werden muss.

Inhalationstrauma und Atemwegssicherung

Gesichtsverbrennungen können die Atemwege gefährden und erfordern eine besondere Beachtung. Bei Verdacht auf eine Inhalationstrauma sollte von Anfang an eine **angemessene Sauerstoffzufuhr** sichergestellt werden.

Ungefähr 15–30 % der schwer Brandverletzten erleiden zusätzlich ein Inhalationstrauma, was prognostisch ein **mehrfach erhöhtes Letalitätsrisiko** bedeutet [1, 10, 13, 15, 23]. Es kann

Infobox 1

Indikationen für Behandlungen in einem Verbrennungszentrum

Absolute Indikationen

- Verbrennungen an Gesicht/Hals, Händen, Füßen, im Anogenitalbereich, in den Achselhöhlen, in Bereichen über den großen Gelenken
- Ausgedehnte Verbrennungen
 - > 15 % *zweitgradig* verbrannte KOF
 - > 10 % *drittgradig* verbrannte KOF
- Begleittraumata
- Spezielle Verbrennungstypen
 - Inhalationstrauma
 - Elektrotrauma
 - Verätzungen
 - Erfrierungen

Relative Indikationen

- Patienten mit relevanten Vorerkrankungen, speziell das kardiovaskuläre System betreffend, Atemwegserkrankungen (z.B. Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD), Diabetes mellitus, Immunsuppression
- Bestimmte Patientengruppen (Alter < 8 Jahre bzw. > 60 Jahre) profitieren von einer Verlegung und Betreuung in einem Zentrum für Brandverletzung bei gleichen Kriterien der VKOF wie oben genannt [13, 20]

unterschieden werden zwischen der Inhalation von systemisch wirkenden „**Erstickungsgasen**“ wie Zyanwasserstoff oder Kohlenstoffmonoxid (CO), der Inhalation von Reizgasen oder der lokalen Einwirkung von Hitze mit Schädigung der oberen Atemwege [3, 10, 16, 24]. Bei Verbrennungen, die in geschlossenen Räumen erfolgt sind, Bewusstlosigkeit, Gesichtsverbrennungen, versengter Gesichts- und Nasenbehaarung, Ruß im Sputum, Verbrennungen des Rachens sowie Zeichen der Atemwegsobstruktion muss immer an ein Inhalationstrauma gedacht werden [2, 10, 13, 14, 16].

Die Inhalation von „**Erstickungsgasen**“ ist in > 80 % der Fälle für den unmittelbaren Todeseintritt am Brandort verantwortlich [13, 16]. Zusätzlich haben die Patienten, die das Verbrennungstrauma vor Ort überleben, während ihres Spitalaufenthalts ein 9fach höheres Risiko, an ihren Verletzungen zu versterben [15]. **Kohlenstoffmonoxid** besitzt eine etwa 300fach höhere Affinität zum Hämoglobin (Hb) als Sauerstoff, wodurch es diesen aus dem Hb-Molekül verdrängt und gleichzeitig die Abgabe des verbleibenden Sauerstoffs im Gewebe hemmt (**Haldane-Effekt**). Beide Mechanismen führen zu einer ausgeprägten Gewebehypoxie. Klinisch treten erste **zerebrale Symptome** wie Kopfschmerzen, Schwindel, Unruhe und Orientierungsstörungen ab einem Anteil des Carboxyhämoglobins (CO-Hb) von etwa 10–15 % auf. Letztere können insbesondere die Eigenrettung der Betroffenen aus Gefahrenbereichen erheblich erschweren. Höhere CO-Hb-Konzentrationen äußern sich in einem rosigen Hautkolorit, das bei Brandverletzten oft nicht mehr gefunden werden kann, in Sehstörungen, Übelkeit, Tachykardie, Tachypnoe, Krampfanfälle sowie Bewusstseinsstörungen bis hin zum Koma. Konventionelle Pulsoxymeter können CO-Hb nicht detektieren und liefern fälschlich normwertige Befunde der pulsoxymetrisch gemessenen Sauerstoffsättigung (S_pO_2). Moderne **Vierwellenlängen-Pulsoxymeter** ermöglichen hingegen eine nichtinvasive CO-Hb-Messung. Bei v.a. eine CO-Intoxikation besteht die Therapie des wachen Patienten in der hochdosier-

ten Gabe von Sauerstoff über eine Maske (mindestens 8 l/min). Bei Bewusstlosigkeit oder respiratorischer Insuffizienz ist eine Beatmung mit einer inspiratorischen Sauerstofffraktion (F_{iO_2}) von 1,0 erforderlich. Nachfolgend sollte rasch eine Bestimmung des CO-Hb-Werts über spezielle Blutgasanalysegeräte erfolgen. Nach Normalisierung des Co-Hb-Werts sollte die Sauerstofftherapie den klinischen Zeichen des Patienten angepasst werden. In schweren Fällen sollte eine **hyperbare Oxygenierung** in einer Druckkammer erwogen werden, die jedoch die Behandlung vital bedrohlicher Zustände nicht verzögern darf [2, 13, 16].

Zyanide blockieren die Zellatmung durch Hemmung der Zytochromoxidase, was zu einer **verminderten Sauerstoffverwertung** im Gewebe führt. Ähnlich wie bei einer CO-Vergiftung kann sich dies klinisch durch ein auffallend rosiges Hautkolorit zeigen, was jedoch bei Brandverletzten aufgrund der Verbrennungen oft nicht festgestellt werden kann. Die Diagnostik einer Zyanidintoxikation gestaltet sich äußerst schwierig, insbesondere da bei Inhalationstraumata häufig gleichzeitig eine CO-Intoxikation vorliegt. Bei begründetem Verdacht gilt die Gabe von **Hydroxocobalamin** als Therapie der Wahl, obwohl der klinische Nutzen bislang nicht eindeutig belegt ist [2, 13, 16].

Reizgase entstehen als toxisches Zerfallsprodukt vieler künstlicher, aber auch natürlicher Materialien, was bevorzugt bei **Schwelbränden** auftritt, und wirken lokal-toxisch. Bei **hydrophilen Reizgasen** wie Ammoniak oder Chlorwasserstoffen erfolgt die Reaktion vorwiegend im **oberen Respirationstrakt** in Form von Würgen, Husten oder einer Aphonie [15]. Diese Reaktion tritt sehr schnell auf und erfolgt, ohne dass eine Obstruktion der tiefen Atemwege vorliegt [16]. Hingegen wirken **fettlösliche Reizgase** wie Stickoxide oder Aldehyde auch in den **tiefen Atemwegen** [15, 16]. Es kann sich ein Schleimhautödem, ein Lungenödem, eine Tracheobronchitis und Atelektasenbildung entwickeln. Dieser Effekt tritt verzögert nach 12–72 h ein [16].

Respiratorische Beschwerden können von leichter Dyspnoe bis hin zu einer schweren, beatmungspflichtigen Globalinsuffizienz reichen [10, 15]. Abhängig vom klinischen Befund stellen die frühzeitige Intubation, Beatmung und symptomatische Intensivtherapie (z. B. mit Bronchospasmolytika) die anerkannte Therapieform dar. Besteht der Verdacht auf ein Inhalationstrauma, sollte in der Klinik eine **fibroptische Bronchoskopie** des Tracheobronchialbaums erfolgen [1, 10]. Bei lokaler Hitzeeinwirkung ist i. Allg. der thermische Schaden auf die oberen Atemwege begrenzt. Sowohl ein orales als auch ein laryngeales Schleimhautödem kann sich über Stunden progredient entwickeln und im Verlauf zu einer **Atemwegsobstruktion** führen [11, 16]. In solchen Fällen sollte eine prophylaktische Gabe **inhalativer Kortikosteroide** in Betracht gezogen werden. Es gibt allerdings keine ausreichende Evidenz für den routinemäßigen Einsatz von Glukokortikoiden oder Antidotem bei inhalativen Traumata im Zusammenhang mit Verbrennungen [10, 16]. Auch in diesen Fällen stellt bei zunehmender Atemwegsobstruktion die Intubation zur Atemwegssicherung die Maßnahme der Wahl dar.

Merke. Hinweise auf ein durch Hitzeeinwirkung bzw. Rauchgas bedingtes Inhalationstrauma:

- Gesichtsverbrennungen

- Angesengte Augenbrauen, Wimpern, Nasen-, Bart- und/oder Kopfhare
- Husten, Bronchospastik
- Heiserkeit, Stridor
- Starke Sekretproduktion bzw. rußiges Sputum
- Enorale Rußablagerungen
- Schluckbeschwerden
- Klobige Sprache [2, 3, 10, 11, 13, 15]

Die Indikationsstellung für eine Atemwegssicherung bei Verbrennungspatienten erfordert eine individuelle Risiko-Nutzen-Abwägung. Die Zeit bis zur Intubation, das Vorgehen bei der Atemwegssicherung und die Vermeidung von Komplikationen sind entscheidend für den Behandlungserfolg. Dies ist wichtig, da das Inhalationstrauma mit Rauchgasintoxikation die häufigste Todesursache nach Verbrennungstrauma darstellt [10].

Cave. Unter der Infusionstherapie kann es innerhalb von Stunden zu einer massiven Anschwellung in Gesicht und Rachen kommen, was eine konventionelle Intubation erschwert oder unmöglich macht.

Merke. Kriterien zur Atemwegssicherung und Beatmung:

- Respiratorische Insuffizienz
- Bewusstseinsbeeinträchtigung oder Bewusstlosigkeit
- Thermomechanisches Kombinationstrauma mit Kreislaufinstabilität
- Tiefe, zirkuläre Verbrennungen des Thorax

Relative Indikation zur Atemwegssicherung bei ansonsten stabilen Patienten:

- Großflächige Verbrennungen allein (> 60 % VKOF)
- Verbrennungen in Gesichts- und Halsbereich
- Inhalationstrauma mit Schluckbeschwerden, Heiserkeit und klobiger Sprache [10, 15, 16]

Flüssigkeitsmanagement

Verbrennungen führen durch den Zelluntergang, das damit verbundene Kapillarleck und die fehlende schützende Barriere der Haut zum Flüssigkeitsverlust. Ein angemessener Flüssigkeitsersatz v. a. in der initialen Schockphase ist wichtig, um den Kreislauf stabil zu halten und das Risiko für mögliche Komplikationen zu minimieren [12, 16]. Eine **frühzeitige Infusionstherapie** ist prognoseentscheidend [11, 13]. Präklinisch sollte/sollten bereits mindestens ein, wenn möglich auch zwei großlumige periphere Venenzugänge, am besten in nichtverbrannten Bereichen, gelegt werden. Primär ist die Verwendung von **isotonischen Kristalloiden** empfohlen [1, 2, 3, 14, 15]. In der präklinischen Situation sollte jedoch darauf geachtet werden, nicht zu viel Flüssigkeit zu verabreichen, um eine Ödembildung zu vermeiden [2, 16]. Hinzu kommt, dass das Ausmaß der VKOF präklinisch oft überschätzt wird, wodurch es potenziell schnell zu einer Überinfusion und Folgekomplikationen kommen kann [12, 16]. Gemäß der AWMF-Leitlinie des Jahres 2021 wird in der präklinischen Phase eine orientierende Volumenmenge bei schwer brandverletzten Erwachsenen von 1000 ml in den ersten 2 h nach

Infobox 2

Parkland-Baxter-Formel

$4 \text{ ml} \cdot \text{Körpergewicht in kg} \cdot \% \text{ VKOF} \hat{=} \text{ml in 24 h.}$

Davon 50 % innerhalb der ersten 8 h nach dem Traumaereignis, die restlichen 50 % in den darauffolgenden 16 h.

dem Traumaereignis empfohlen. Präklinisch sollen die bekannten Formeln (nach Parkland/Baxter) aufgrund von Fehleranfälligkeiten keine standardmäßige Anwendung finden [2]. Nur bei verlängerter präklinischer Phase oder initialer Versorgung außerhalb eines spezialisierten Verbrennungszentrums sollte sich die notwendige Flüssigkeitstherapie an solchen Formeln orientieren, die das Körpergewicht und die verbrannte Körperoberfläche berücksichtigen [2].

Bei Patienten mit zweit- oder drittgradigen Verbrennungen und einer VKOF > 10 % ist ein frühzeitiger Beginn der Infusionstherapie mit isotonischen Kristalloidlösungen entscheidend. **Ringer-Acetat-Lösung** sollte im Vergleich zu 0,9%iger NaCl-Lösung bevorzugt werden, da Erstere unabhängig von der Leberfunktion verstoffwechselt wird und Letztere eine metabolische, hyperchlorämische Acidose auslösen kann [2, 11, 16].

Innerklinisch dient die **Parkland-Baxter-Formel** als Orientierungsgrundlage für den Flüssigkeitsersatz, basierend auf dem Prozentsatz der VKOF (s. Merksätze unten, **Infobox 2**, [10, 11, 13, 16]).

Merke.

- Die Parkland-Baxter-Formel gilt nur für den *innerklinischen* Gebrauch und dient lediglich als grobe Orientierung des Flüssigkeitsbedarfs.
- Bei der Berechnung werden nur zweit- und drittgradige Verbrennungen berücksichtigt [11, 12, 13, 16].

Die innerklinische Anpassung des Flüssigkeitsvolumens sollte je nach klinischer Reaktion des Patienten erfolgen und berücksichtigt individuelle Faktoren wie die **Diurese**, den Blutdruck mit guter peripherer Perfusion und den allgemeinen Flüssigkeitsstatus. Die Diurese ist der beste klinische Parameter zur Beurteilung der Volumensteuerung, und ein Zielwert von 0,3–0,5 ml/kgKG und h dient als hilfreiche Orientierung.

Besondere Aufmerksamkeit sollte Patienten mit erfolgter Atemwegssicherung, Elektrotrauma oder verzögerter Einleitung der Volumentherapie gewidmet werden, da sie möglicherweise einen erhöhten Flüssigkeitsbedarf haben [11]. Es ist jedoch dringend vor einer unkritischen Überinfusion zu warnen, da diese mit erheblichen Risiken verbunden ist. Insbesondere besteht die Gefahr der Ausbildung eines Lungenödems sowie ausgeprägter Ödeme, v. a. in nichtverbrannten Körperregionen. In einzelnen Fällen kann die resultierende Gewebeswellung eine **Faszienspaltung** der Extremitäten erforderlich machen. Eine weitere, bislang oft unterschätzte Komplikation stellt das abdominelle Kompartmentsyndrom dar, das infolge einer übermäßigen Flüssigkeitszufuhr entstehen kann und ab einer infundierten Gesamtmenge von mehr als 0,25 l/kgKG während der Schockphase als potenzielle Komplikation in Betracht gezogen werden sollte [24]. Entscheidend ist ein **präzises**

Flüssigkeitsmanagement, um das Gleichgewicht zwischen ausreichender Zufuhr und möglichen Komplikationen zu finden. Dies bedarf einer kontinuierlichen Überwachung des Flüssigkeitsstatus sowie der Berücksichtigung individueller Patientenfaktoren [11]. Um die Komplikationen einer Über- oder Unterinfusion zu minimieren, verlangt es **regelmäßige Evaluationen** durch ein erfahrenes Verbrennungsteam [12].

Cave. Eine Überinfusion kann zu folgenden Komplikationen führen [10, 11, 16, 24]:

- Ödeme, insbesondere in nichtverbrannten Arealen
- Kompartmentsyndrom im Bereich zirkulär tief verbrannter Areale (Extremitäten, Hals, Thorax), was durch eine prophylaktische Escharotomie verhindert werden kann
- Lungenödem
- Abdominelles Kompartmentsyndrom
- „Abtiefen“ der Verbrennung durch ödembedingte Minderperfusion in den Grenzgebieten

Ab dem 2. posttraumatischen Tag normalisiert sich die Kapillarpermeabilität, weshalb die benötigte Infusionsmenge z. T bis auf den Erhaltungsbedarf reduziert werden kann [10]. Der gleichzeitige Flüssigkeitsrückstrom aus dem Gewebe zurück ins Gefäßsystem kann u. U. eine intravasale Volumenüberladung bedingen [10].

Merke. Präklinisches Volumenmanagement: in den ersten 2 h nach dem Traumaereignis max. 1000 ml Volumen

Temperaturmanagement

Neben den oben genannten Maßnahmen spielt das Temperaturmanagement eine wichtige Rolle in der Versorgung von Verbrennungspatienten.

Die **Hypothermie**, bei der die Körpertemperatur unter 36 °C beträgt, ist bei der Krankenhausaufnahme von Verbrennungspatienten ein häufiges Problem [2, 13]. Mehrere Faktoren erhöhen das Risiko einer Hypothermie, darunter der prozentuale VKOF-Anteil, die Tiefe der Verbrennungen (3. Grades), das Vorliegen eines Inhalationstraumas, eine präklinische Intubation und die Anwendung von **Anästhetika** [2, 13]. Ein weiterer, wesentlicher Faktor ist, dass Laien die Verletzten in der Erstversorgung häufig kühlen, obwohl dies nur als Analgesie bei kleinflächigen Verbrennungen nützlich und bei großflächigen Verbrennungen eindeutig kontraindiziert ist [2, 16].

Die Körpertemperatur hat einen direkten Einfluss auf die Prognose, wobei hypotherme Patienten eine signifikant kürzere Zeitspanne bis zum Tod aufweisen im Vergleich zu Patienten mit normaler Körpertemperatur [2, 4, 13]. Eine Hypothermie erhöht auch das Risiko für Komplikationen, sowohl infektiöser als auch nichtinfektiöser Natur (**Infobox 3**, [10, 13]). Daher sollten bereits präklinisch mithilfe eines Ohrthermometers **regelmäßige Körpertemperaturkontrollen** erfolgen, innerklinisch kann auf eine invasive Messung z. B. vesikal via Blasenkatheter mit eingebauter Temperaturmesssonde umgestellt werden [2].

Um eine Hypothermie zu verhindern oder zu behandeln, werden verschiedene Methoden des **aktiven Wärmens** eingesetzt, darun-

Folgen der Hypothermie^a

- Immunsuppression
- Verzögerte Wundheilung
- Erhöhte Sepsisgefahr
- Gerinnungsstörung mit Thrombozytenfunktionsstörung
- Zunahme des Verbrennungsausmaßes
- Auftreten von Herzrhythmusstörungen

^a[10, 11, 13]

ter Heizstrahler, Warmluft, Erhöhung der Raumtemperatur und der Luftfeuchtigkeit [10, 16] und die Verwendung einer **Ösophagussonde**. Präklinisch sollten, bei Verdacht auf einen Einsatz bei Schwerbrandverletzten, die Rettungsmittel bereits auf dem Weg zum Einsatzort vorgeheizt [2, 3] und die Patienten mit einer **Rettungsdecke** oder **Wärmefolie** warmgehalten werden. Im Rahmen der initialen Flüssigkeitstherapie (s. Abschn. „Flüssigkeitsmanagement“) sollte bei Schwerbrandverletzten idealerweise **vorgewärmte Infusionslösung** zum Einsatz kommen, um einer Hypothermie entgegenzuwirken [2].

Ein frühzeitiges Erkennen von Hypothermierisiken und die Implementierung geeigneter Maßnahmen sind entscheidend, um die optimale Versorgung sicherzustellen.

Spezialthema Elektrotrauma

In der entwickelten Welt machen Verbrennungen durch Strom ungefähr 3–5 % (je nach Literatur auch 3–7 %) aller Verbrennungsunfälle aus [25, 26, 27]. Elektrotraumata passieren am häufigsten im Rahmen von Arbeitsunfällen oder als misslungene Mutprobe von Jugendlichen mit dem Besteigen von Strommasten oder Eisenbahnwaggons [16, 25, 26, 27]. Das Ausmaß des Schadens ist abhängig von der **Energie**, die wiederum durch die Kontaktzeit, die anliegende Spannung und den Gesamtwiderstand bestimmt wird [16, 26]. Verletzungen entstehen entweder durch den **Strom** oder durch **Lichtbögen** [26].

Wichtig zur Klassifizierung ist die Unterscheidung zwischen **Niederspannungsunfällen** (< 1000 V) und **Hochspannungsunfällen** (> 1000 V) [16]. Bei Unfällen im Hochspannungsbereich (z. B. **Bahnoberleitung** 15 kV oder **Hochspannungsleitung** 380 kV) kann bereits die Annäherung an den Stromleiter zum Überschlag, im normalen Sprachgebrauch auch oft „Lichtbogen“ genannt, mit Durchströmung von Gewebe führen. Zusätzlich kann die **Hitzeentwicklung** einhergehen mit Temperaturen bis zu ca. 10.000 °C, die erhebliche Verbrennungen verursachen können. Der Strom bewirkt zusätzlich eine direkte, nicht thermisch verursachte Gewebsschädigung, die **Elektroporation** genannt wird. Es können inselförmige Schäden in ansonsten gesunder Muskulatur entstehen [16].

Bei Unfällen im Niederspannungsbereich (z. B. **Haushaltsstrom** 220/340 V) entsteht oft ein kurzer Kontakt zur Spannungsquelle mit nur kurzer Durchströmungszeit, sog. **Wischern** [17]. Trotz der kurzen Kontaktzeit kann sich v. a. sekundär Unfällen ereignen. Durch die vom Strom ausgelösten Muskelspannungen können **Beugungsverletzungen** in Form von Sehnenabrissen, Dislokationen oder

Frakturen entstehen [16, 25]. Daher muss bei V. a. einen Stromunfall das gesamte Achsenskelett des Betroffenen mit besonderem Augenmerk auf **Wirbelfrakturen** untersucht werden [16]. Ist die Hand betroffen, kann sich die Kontaktzeit aufgrund des mechanischen Zusammenziehens der Muskulatur durch sog. **Klebenbleiben** an der Stromquelle unwillkürlich verlängern [16, 17]. An den Ein- und Austrittsstellen können dann auch im Niederspannungsbereich Verbrennungen auftreten [17].

Wichtig vor der Bergung/Rettung dieser Patient ist der Eigenschutzes durch die Sicherstellung der Stromlosigkeit im Nieder- und im Hochspannungsbereich sowie das Einhalten eines Sicherheitsabstands bei Hochspannungsleitungen zur Vermeidung eines Lichtbogens (1 cm je 1000 V).

Ebenfalls relevant ist die Differenzierung zwischen **Gleichstrom** und **Wechselstrom**. Bei einem Unfall mit Gleichstrom tritt typischerweise eine kurze, einmalige Muskelkontraktion auf, die häufig das Loslassen der Stromquelle ermöglicht und v. a. thermische Gewebeschäden verursacht. Im Gegensatz dazu führt Wechselstrom aufgrund der rhythmischen Muskelstimulation im Frequenzbereich von 50–60 Hz zu einer anhaltenden Muskelkontraktion, was das Loslassen verhindert und insbesondere das Risiko für **Herzrhythmusstörungen** bis hin zum Kammerflimmern deutlich erhöht.

Sind **Strommarken** nach einem Stromunfall sichtbar, ermöglichen diese eine Schlussfolgerung, welche Richtung der Strom durch den Körper genommen hat. Bei Unfällen mit hoher Stromdichte bzw. bei Stromwegen im Thoraxbereich kann es zu Dyspnoe und Herzrhythmusstörungen bis hin zu Kammerflimmern und Asystolie kommen [16]. Im EKG sind dann oft, aufgrund des Untergangs von Myokardzellen, infarkttypische Veränderungen sichtbar [16]. Überlebende schwerer Elektrotraumata präsentieren in bis zu 46 % der Fälle Formen von Arrhythmien. Lassen sich hingegen initial keine EKG-Veränderungen nachweisen, sind später auftretende lebensbedrohliche Herzrhythmusstörungen sehr unwahrscheinlich [11].

Das gesamte Ausmaß der **Gewebszerstörung** geht häufig weit über die an der Hautoberfläche sichtbaren Veränderungen im Bereich der Ein- und Austrittsstellen hinaus und wird erst nach einer **langen Latenzzeit** endgültig sichtbar [16, 26]. Im Vergleich zur Haut können bei Elektrotraumata die inneren Organe oder Gewebe schwerere Verbrennungen erleiden [26, 27]. Bei Stromunfällen entstehen an unterschiedlichen Orten Schäden aufgrund unterschiedlicher Widerstände verschiedener Gewebe gegenüber dem Strom. Knochen z. B. zeigt den höchsten Widerstand im Vergleich zum umgebenen Gewebe. Somit entsteht bei Hochspannungsunfällen direkt am Knochen die höchste **Hitzeakkumulation**. Dies sorgt für einen Schaden an der direkt am Knochen liegenden Muskulatur. Hingegen erleiden die superfiziellen Muskelanteile sowie subkutane Bereiche und die Haut deutlich weniger Schäden [11], was wiederum erklärt, warum eine Einschätzung des gesamten Verletzungsausmaßes nach einem Elektrotrauma schwierig ist. Die Schäden an der Muskulatur können sich in Form von Ödemen oder schnellen und fortschreitenden **Gewebsnekrosen** zeigen und zu einem Kompartmentsyndrom und einer **Rhabdomyolyse** führen [27]. Die durch die Rhabdomyolyse entstehende Myoglobinurie stellt ein Risiko für ein **akutes Nierenversagen** dar [11]. In ausgewählten Fällen, in denen ein Kompartmentsyndrom

nach Elektrotrauma vermutet, jedoch klinisch und durch invasive Druckmessung nicht eindeutig bestätigt werden kann, kann eine weiterführende MRT-Diagnostik sinnvoll sein, um das Ausmaß von Ödemen und Nekrosen noch besser evaluieren zu können. Dies kann die chirurgische Planung insbesondere bei tiefen oder schwer zugänglichen Verletzungen nach einem Elektrotrauma unterstützen. Die MRT-Diagnostik gehört jedoch keineswegs zu den Routineuntersuchungen und bleibt individuellen Fällen vorbehalten [28, 29].

Nach einem Elektrotrauma können die im Rahmen der innerklinischen Versorgung üblicherweise angewendeten Formeln für die Flüssigkeitstherapie nicht übernommen werden, da der Bedarf oft über dem liegt, der aufgrund der oberflächlich sichtbaren Verbrennungen berechnet würde [11, 15, 16]. Zusätzlich wird neben dem erhöhten Bedarf bei Gefahr für ein akutes Nierenversagen eine höhere Urinproduktion bis zu 2 ml/kgKG und h angestrebt [2].

Elektrotraumata verlangen aufgrund einer höheren Inzidenz von Komplikationen wie Amputationen, Kompartmentsyndrom und höherer Mortalität eine aufmerksamere Betreuung [26]. Chirurgisch wird in der Klinik häufig früh eine **Fasziotomie** durchgeführt, um ein Kompartmentsyndrom an den betroffenen Extremitäten zu vermeiden. Trotzdem kann im Verlauf des Öfteren eine **Amputation** notwendig werden [16]. Die Amputationsrate von verletzten Extremitäten nach Stromunfällen kann bis zu 30 % betragen [25].

Merke. Management des Elektrotraumas

- Immer an Eigenschutz denken
- Kardiale Diagnostik und ggf. Therapie durchführen
- Nach Begleitverletzungen suchen
- Erhöhten Flüssigkeitsbedarf berücksichtigen und eine ausreichende Diurese anstreben
- Bei Septiszeichen ist ein konsequentes chirurgisches Vorgehen, ggf. auch mit Amputation, notwendig [15, 16]

Nach einem Elektrotraumata sind im Verlauf des Spitalaufenthalts gewisse Spätkomplikationen beschrieben. Es kann zu Visuseinschränkungen, ischämischen Herzveränderungen und Kontrakturen kommen. Des Weiteren sind **neurologische Schäden** und **kognitive Einschränkungen** beschrieben, die sich in verlangsamttem Denken, Konzentrationsschwierigkeiten, Sprach- und Gedächtnisstörungen sowie emotionalen Stress äußern [25].

In einer Untersuchung in der Türkei aus dem Jahr 2013 zeigten Saracoglu et al., dass die Mortalität nach Verletzungen im Hochspannungsbereich höher war als nach Verletzungen im Niederspannungsbereich. Die Untersuchung machte deutlich, dass die VKOF einen signifikanten Einfluss auf die Mortalität hatte. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass eine unzureichende initiale Therapie am Unfallort neben der Anzahl der verbrachten Tage auf einer Intensivstation oder der Notwendigkeit eines Nierenersatzverfahrens mithilfe der Hämofiltration den größten Risikofaktor darstellt [25]. Dies unterstreicht die Wichtigkeit einer adäquaten Betreuung von Anfang an.

Chirurgische Versorgung

Die chirurgische Versorgung von Verbrennungspatienten erfordert ein äußerst erfahrenes Team, bestehend aus Chirurgen, Anästhesisten und Pflegepersonal, um sicherzustellen, dass die Eingriffe effizient und pragmatisch durchgeführt werden können. Die Wahl der richtigen Techniken und des geeigneten Zeitpunkts für die Operationen ist entscheidend, um optimale Ergebnisse zu erzielen und das Risiko von Komplikationen auf ein Minimum zu reduzieren.

Ziel der Verbrennungschirurgie ist die Wiederherstellung einer schützenden Hautschicht. Eine **frühzeitige Exzision** der nekrotischen Areale und Hauttransplantationen bilden das Fundament der Behandlung von tiefen, zweit- und drittgradigen Verbrennungen. Bevor dies geschieht, erhalten Schwerbrandverletzte ein sog. Eintrittsbad, auch **Hydrotherapie** genannt, das eine **Dekontamination** des Körpers beinhaltet. Die Patienten werden auch, falls nötig, als Vorbereitung auf Folgeoperationen komplett rasiert. Zudem erhalten sie bei Vorhandensein von tiefen, zirkulären Verbrennungen eine **Escharotomie** oder bei schweren Elektrotraumata eine Fasziotomie im Bereich der betroffenen Extremitäten, um einem Kompartmentsyndrom vorzubeugen. Je nach Zustand des Patienten wird eine frühe und aggressive Exzision der nekrotischen Areale innerhalb der ersten 48–72 h angestrebt. Bei tiefen, zweitgradigen Verbrennungen ist meist eine tangentiale Exzision ausreichend, um eine gesunde, dermale Schicht zu erreichen, die optimalerweise anschließend mit autogenen Hauttransplantaten gedeckt werden kann. Ein gewisser **Blutverlust** ist unvermeidlich, insbesondere bei tangentialen Exzisionen; diese kann mit bis zu 1–3 l erheblich ausfallen. Eine effektive interdisziplinäre Absprache innerhalb des Operationsteams ist essenziell, um auch rechtzeitig Transfusionen von Blut oder Gerinnungsfaktoren verabreichen zu können. Drittgradige Verbrennungen gehen mit geringeren Blutungen einher, da die Dermis in diesem Fall komplett verbrannt ist. Problematisch ist aber die **fettgewebshaltige Subkutis**, die kein gut vaskularisiertes Wundbett bietet. In solchen Fällen ist eine **epifasziale Exzision** bis auf die Muskelfaszie indiziert [30]. Weitere Werkzeuge, die zur Nekrosenabtragung eingesetzt werden können, sind enzymatische Mittel, die ein selektives **enzymatisches Débridement** der Wunden erlauben [31]. Die Indikationsstellung für ein enzymatisches Débridement erfordert viel Erfahrung seitens des Chirurgieteams.

Der Goldstandard für eine anschließende Defektdeckung ist eine **autogene Spalthauttransplantation**, mit einer Transplantatdicke von ungefähr 0,8–1,0 mm. Die Fläche der Hauttransplantate kann je nach Bedarf durch verschiedene Techniken vergrößert werden, z. B. durch das **Spalten-„Meshen“**, das durch netzmusterartige Schneiden des Hauttransplantats eine Flächenvergrößerung bis zu 1:6 erlaubt. Ein weiteres Verfahren ist das **Meek-Transplantat**, benannt nach dem Erfinder Cicero Parker Meek [35]; dies beinhaltet das Schneiden des Transplantats in kleine Quadrate bzw. Mikrotransplantate und erlaubt eine Flächenvergrößerung von maximal 1:9. Grundsätzlich können, je nach Notwendigkeit, erneut Hauttransplantate von denselben Spenderarealen 2 Wochen nach der vorherigen Transplantation entnommen werden. Je nach Ausdehnung und eingeschränkten Hautspendearealen sowie Zustand des Patienten ist ein **mehrzeitiges Vorgehen** mit mehreren Exzisionen

Infobox 4

Erweiterter Baux-Score

Alter + Anteil der VKOF + 17 · (Inhalationstrauma, 1 = ja, 0 = nein)

und temporären Deckungen mit beispielsweise allogener Spenderhaut von Leichen notwendig. Zusätzlich kann bei Verbrennungen ab 50 % VKOF ein Hautbiospat eines unverbrannten Arealen entnommen werden, um **epitheliale Autotransplantate** kultivieren zu lassen [32]. Hierbei handelt es sich um in vitro gezüchtete, autogene Keratinozyten, die eine beschleunigte Reepithelialisierung der Wunden unterstützen.

Prognoseeinschätzung

Die Prognose bei Verbrennungen hängt von verschiedenen Faktoren ab, die sorgfältig einbezogen werden müssen, um die richtige medizinische Versorgung und Überwachung sicherzustellen. Ein Werkzeug zur besseren Prognoseeinschätzung ist der Abbreviated Burn Severity Index (ABSI). Dieser wurde entwickelt, um die **Sterbewahrscheinlichkeit** bei Patienten mit Verbrennungsverletzungen genauer zu prognostizieren, indem er mehrere relevante Parameter berücksichtigt [2, 14, 16]. Die Anwendung des ABSI wird aktuell gemäß der S2k-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Verbrennungsmedizin empfohlen [2].

Das Ausmaß der VKOF ist ein entscheidender Parameter, der die Schwere der Verbrennungsverletzung widerspiegelt. Je größer die verbrannte Fläche ist, desto größer ist die Belastung für den Organismus, was zu Schock, Dehydratation und anderen schwerwiegenden Komplikationen führen kann. Großflächige, drittgradige Verbrennungen, die alle Hautschichten betreffen, sind besonders schwerwiegend und erfordern eine intensivmedizinische Behandlung.

Das Vorliegen eines Inhalationstraumas kann die Prognose bei Verbrennungsverletzungen weiter verschlechtern. Das Einatmen von giftigen Gasen und Partikeln kann schwere Atemwegs- und Lungenschäden auslösen, die die Gesamtheit der Verbrennungsverletzung komplexer machen. Dies erhöht das Risiko von **Atemwegsinfektionen** und **Atemwegserkrankungen** wie dem Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS), was die Sterblichkeit deutlich erhöhen kann. Die definitive Diagnose eines Inhalationstraumas sollte jedoch nur auf Grundlage einer bronchoskopischen Untersuchung erfolgen.

Für jeden Parameter des ABSI werden Punkte vergeben. Deren Addition ergibt einen Gesamt-Score, der eine ungefähre Prognose der Überlebensrate in Prozenten ermöglicht. Eine detaillierte Aufstellung bzw. Zusammensetzung des ABSI ist den **Tab. 1 und 2** zu entnehmen.

Ein anderer Prognosescore ist der **Baux-Score**. Der ursprüngliche Baux-Score addiert das Alter des Patienten und den VKOF-Anteil. Der Ansatz des von Prof. Serge Baux entwickelten Scores war es damals, dass eine Zunahme des Patientenalters oder 1 % mehr verbrannte Körperoberfläche die Mortalität zu gleichen Teilen negativ beeinflussen [33]. Der Score stammt noch aus einer Zeit, in der ein 50-Jähriger mit einer VKOF von 50 % sehr sicher seinem Verbrennungstrauma erlegen wäre. Seither ist die Mor-

Tab. 1 Abbreviated Burn Severity Index (ABSI)

Parameter	Bewertung
Geschlecht	Weiblich 1 Punkt; männlich 0 Punkte
Alter	1 Punkt je 20 Jahre
Verbrannte Körperoberfläche	1 Punkt je 10 %
Inhalationstrauma	1 Punkt
Verbrennung 3. Grades	1 Punkt

Tab. 2 Outcome in Abhängigkeit vom ABSI-Score

Punkte	Prognose	Überlebensrate (%)
2–3	Gut	> 99
4–5	Mäßig	90–99
6–7	Mäßig bis ernst	80–90
8–9	Ernst	50–70
10–11	Schlecht	20–40
12–13	Sehr schlecht	< 10

ABSI Abbreviated Burn Severity Index

talität der Patienten durch die Verbesserung der medizinischen Betreuung mit sowohl chirurgischen als auch intensivmedizinischen neuen Therapien so weit reduziert worden, dass der ursprüngliche Baux-Score heutzutage als zu pessimistisch gilt. Außerdem werden Parameter, von denen man heutzutage bezüglich ihres Einflusses auf die Mortalität weiß, nicht berücksichtigt. Daher entwickelten Osler et. al. [33] einen **erweiterten Baux-Score**, der zusätzlich ein vorhandenes Inhalationstrauma einbezieht [33]:

Dieser revidierte Score wertet das Vorhandensein eines Inhalationstrauma als Äquivalent zu 17 Jahren Patientenalter oder 17 % zusätzlicher VKOF.

Die errechneten Werte bewegen sich zwischen 0, was einem Neugeborenen ohne Verbrennung oder Inhalationstrauma entspricht, und 220, dem Wert, den ein 103 Jahre alter Patient mit 100 % VKOF und Inhalationstrauma erreichen könnte. Gemäß der Untersuchung von Osler et al. versterben Patienten mit einem Wert < 65 statistisch selten, während dies bei Patienten mit einem Wert > 165 normalerweise der Fall ist. Im Vergleich zum ursprünglichen Baux-Score gibt der erweiterte Baux-Score vermutlich eine zu optimistische Vorhersage ab, da Daten der Patienten, die aufgrund ihrer großflächigen Verbrennungen bereits prähospital verstorben sind, nicht in die Entwicklung des Scores eingefloßen sind [33].

Der ABSI und der erweiterte Baux-Score haben gemeinsam, dass sie das Inhalationstrauma einbeziehen, da bekannt ist, dass sein Vorhandensein das Überleben reduziert [33].

Fazit für die Praxis

- **Verbrennungsgrade I und IIa können spontan abheilen. Ab Grad IIb entstehen Narben, und es braucht eine chirurgische Therapie.**
- **Absolute Indikationen für Behandlungen in einem Verbrennungszentren sind:**
 - **Verbrennungen an Gesicht/Hals, Händen, Füßen, im Anogenitalbereich, in Achselhöhlen, in Bereichen über den großen Gelenken**
 - **Ausgedehnten Verbrennungen:**
 - **> 15 % zweitgradig verbrannte KOF**

- > 10% **drittgradig verbrannte KOF**
- **Begleittraumata**
- **Speziellen Verbrennungstypen:**
 - **Inhalationstrauma**
 - **Elektrotrauma**
 - **Verätzungen**
 - **Erfrierungen**
- **Relative Indikationen für Behandlungen in einem Verbrennungszentrum sind:**
 - **Relevante Vorerkrankungen, speziell des kardiovaskulären Systems, Atemwegserkrankungen (z. B. Chronic Obstructive Pulmonary Disease), Diabetes mellitus, Immunsuppression**
 - **Bestimmte Patientengruppen (Alter < 8 Jahre bzw. > 60 Jahre) profitieren von einer Verlegung und Betreuung in einem Zentrum für Brandverletzung bei gleichen Kriterien der VKOF wie oben genannt**
- **Wichtige präklinische Erstmaßnahmen bei Verbrennungen sind die Flüssigkeitstherapie, die grobe richtige Einschätzung des Verbrennungsausmaßes, das Erkennen von Begleitverletzungen sowie der Wärmeerhalt und die korrekte Indikationsstellung für eine Versorgung in einem Verbrennungszentrum.**
- **Bei einem Elektrotrauma kann es neben Verbrennungen der Haut u. a. zu Muskeldemen und -nekrosen mit Kompartmentsyndrom sowie zu lebensbedrohlichen Herzrhythmusstörungen und im Verlauf zum Nierenversagen kommen.**
- **Anhand der Neuner- oder der Handflächenregel kann das Ausmaß der VKOF abgeschätzt werden.**
- **Eine prophylaktische Verabreichung von Antibiotika bei frischen Verbrennungen sollte vermieden werden, einzige Ausnahme gilt der präoperativen Antibiotikaprophylaxe.**

Korrespondenzadresse

Dr. med. Linda Gutzler

Institut für Anästhesie und perioperative Medizin, Universitätsspital Zürich
Raemistrasse 100, 8091 Zürich, Schweiz
Linda.Gutzler@usz.ch

Förderung. Wir haben keine Förderungen von Dritten erhalten.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. Gemäß den Richtlinien des Springer Medizin Verlags werden Autoren und Wissenschaftliche Leitung im Rahmen der Manuskripterstellung und Manuskriptfreigabe aufgefordert, eine vollständige Erklärung zu ihren finanziellen und nichtfinanziellen Interessen abzugeben.

Autoren. **L. Gutzler:** A. Finanzielle Interessen: **L. Gutzler** gibt an, dass kein finanzieller Interessenkonflikt besteht. – B. Nichtfinanzielle Interessen: Oberärztin am Institut für Anästhesiologie und perioperative Medizin Universitätsspital Zürich | Mitgliedschaft: FMH Schweiz. **L. Kölsch:** A. Finanzielle Interessen: **L. Kölsch** gibt an, dass kein finanzieller Interessenkonflikt besteht. – B. Nichtfinanzielle Interessen: angestellte Assistenzärztin Anästhesie am Institut für Anästhesie, Universitätsspital Zürich und Kantonsspital Baden (2019-2024); angestellte Assistenzärztin interdisziplinäres Notfallzentrum Spital Limmattal (2025), angestellte Assistenzärztin am Institut für Anästhesie, Schulthess Klinik. **M. Vasella:** A. Finanzielle Interessen: **M. Vasella** gibt an, dass kein finanzieller Interessenkonflikt besteht. – B. Nichtfinanzielle Interessen: angestellter Plastischer Chirurg am Universitätsspital Zürich, Schweiz; Aktuell angestellter Fellow am Royal Melbourne Hospital, Australien | Mitgliedschaften: FMH

Schweiz, VSAO Schweiz, Swiss Plastic Surgery, EBOPRAS. **A. Kaserer:** A. Finanzielle Interessen: **A. Kaserer** received lecture honoraria from Bayer AG (Switzerland), CSL Behring GmbH (Switzerland) and advisory honoraria from AstraZeneca AG (Switzerland) and Pharmacosmos (Switzerland). – B. Nichtfinanzielle Interessen: Leitender Arzt am Institut für Anästhesiologie und Perioperative Medizin, Universitätsspital Zürich | Mitgliedschaften: SSAPM, ESAIC, SGNOR.

Wissenschaftliche Leitung. Die vollständige Erklärung zum Interessenkonflikt der Wissenschaftlichen Leitung finden Sie am Kurs der zertifizierten Fortbildung auf www.springermedizin.de/cme.

Der Verlag erklärt, dass für die Publikation dieser CME-Fortbildung keine Sponsorengelder an den Verlag fließen.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Glossar

- Allogen** Gewebeübertragung zwischen genetisch verschiedenen Individuen derselben Art
- Autogen** Gewebeentnahme aus dem eigenen Körper des Patienten
- „Capillary leak“/Kapillarleck** Abnorme Durchlässigkeit der Kapillarwände, die zu Flüssigkeitsverlust ins Gewebe führt
- Computertomographie (CT)** Radiologisches Verfahren, das mithilfe von Röntgenstrahlen detaillierte Querschnittsbilder des Körpers erzeugt, um Gewebe und Organe zu visualisieren
- Débridement** Entfernung von abgestorbenem oder infiziertem Gewebe aus einer Wunde
- Escharotomie** Chirurgische Entfernung von verhärtetem Gewebe (Eschar) zur Druckentlastung und Heilung
- Extravasatraum** Raum außerhalb der Blutgefäße, in dem Gewebsflüssigkeit zwischen Zellen und Blutgefäßen zirkuliert
- Fasziotomie** Chirurgischer Schnitt in die Faszie, um den Druck in einem Muskelkompartiment zu entlasten, oft notwendig bei Kompartmentsyndrom
- Gefäßpermeabilität** Durchlässigkeit von Blutgefäßen für Flüssigkeiten und Moleküle
- Hämofiltration** Medizinisches Verfahren zur Entfernung von Abfallstoffen und überschüssiger Flüssigkeit aus dem Blut bei Nierenversagen
- Interstitium** Gewebe zwischen den Zellen und Blutgefäßen, das Flüssigkeit und Nährstoffe enthält
- Intravasatraum** Raum innerhalb der Blutgefäße, in dem das Blut zirkuliert
- Kompartmentsyndrom** Zustand, bei dem der Druck in einem Muskelkompartiment so stark ansteigt, dass die Blutzirkulation gestört wird, was zu Gewebeschäden führen kann. Ursachen sind häufig Verletzungen wie Frakturen. Symptome sind Schmerzen, Schwellungen und eingeschränkte Beweglichkeit. Eine schnelle Behandlung ist notwendig
- Kolloidnontotischer Druck** Osmotischer Druck, der durch Plasmaproteine im Blut erzeugt wird und Flüssigkeit im Gefäßsystem hält
- Meek-Transplantate** Autogene Spalthauttransplantate, die mithilfe eines speziellen Expanders (Meek-Mesh-Verfahren) in kleine quadratische Inseln zerteilt und auf ein Trägermaterial aufgebracht werden, wodurch sich das Transplantat bis zu 1:9 vergrößern lässt und größere Wundflächen gedeckt werden können
- Mesh-Transplantate** Autogene Spalthauttransplantate, die mithilfe einer Gitterstanze („Mesher“) perforiert werden, um sie mechanisch in einem Gitternetzmuster zu expandieren (typischerweise im Verhältnis 1:1,5 bis 1:6) und größere Wundflächen decken zu können
- Nekrosektomie** Chirurgischer Eingriff zur Entfernung von abgestorbenem Gewebe (Nekrose), das durch unzureichende Blutzufuhr oder Infektionen entsteht. Ziel ist es, die Ausbreitung der Schädigung zu verhindern und die Heilung zu fördern
- Posttraumatische Belastungsstörung (PTSD)** Psychische Erkrankung nach traumatischen Erlebnissen, gekennzeichnet durch Flashbacks und Angst
- Rhabdomyolyse** Zerstörung von Muskelgewebe, bei der frei gesetzte Zellinhalte ins Blut abgegeben werden und die zu Nierenversagen führen kann
- Superfiziell** Oberflächlich, nahe an der Körperoberfläche oder dem Gewebe
- Tangentiale Exzision** Schichtweise Entfernung von Hautgewebe, oft bei Hautkrebs oder Verbrennungen
- Traumaspirale** Durchführung einer Computertomographie bei Traumapatienten im Rahmen der Schockraumbetreuung, um die genaue Lokalisation von Verletzungen darzustellen

Literatur

1. D. G. Greenhalgh, „Management of Burns,” *The New England Journal of Medicine*, pp. 2349–2359, 13 Juni 2019.
2. Rennekampff HO (2021) Leitlinie Behandlung thermischer Verletzungen des Erwachsenen“, „Klasse: S2k. AWMFonline
3. M. G. Jeschke, M. E. van Baar, M. A. Choudhry, K. K. Chung und N. S. L. S. Gibran, „Burn injury,” *Nature Reviews Disease Primers*, Bd. 6, Nr. 11, 2020.
4. E. Radzikowska-Büchner, I. Lopuszynska, W. Flieger, M. Tobiasz und R. Maciejewski, „An Overview of Recent Developments in the Management of Burn Injuries,” *International Journal of Molecular Sciences*, 2023.
5. J. Elrod, A. Adathala, C. Mohr, K. Neuhaus, C. Schiestl und S. Böttcher-Haberzeth, „As time goes by—Overlooking 40 years of inpatient burn treatment at a national pediatric burn center in Switzerland,” *Burns*, pp. 236–243, 2024.
6. BFB Beratungsstelle für Unfallverhütung, Zugriffen: 03.11.2024. [Online]. Available: <https://www.bfb-cipi.ch/ueber-bfb/verletzungen>.
7. <https://verbrennungsmedizin.de/brandverletztenzentren>
8. <https://www.euroburn.org/burn-centres/>
9. Universitätsspital Zürich, Spitaldirektion, Marketing, „Verbrennungen,” Zugriffen: 03.11.2024. [Online]. Available: <https://www.usz.ch/krankheit/verbrennungen-verbruehungen/>.
10. Striabel PDmHW (2019) Verbrenungstrauma. In: *Die Anästhesie*. Georg Thieme Verlag KG, pp 1457–1467
11. E. A. Bittner, E. Shank, L. Woodson und J. J. Martyn, „Acute and Perioperative Care of the Burn-Injured Patient,” *Anesthesiology*, pp. 448–464, 2015.
12. J. A. Snell, N.-H. W. Loh, T. Mahambrey und K. Shokrollahi, „Clinical review: The critical care management of the burn patient,” *Critical Care*, p. 241, 2013.
13. T. Truplovic und G. Giessler, „Das Verbrennungstrauma, Teil 1: Pathophysiologie, präklinische Versorgung und Schockraummanagement,” *Der Anästhesist*, pp. 898–907, 2008.
14. A. Daigeler, N. Kapalschinski und M. Lehnhardt, „Therapie von Brandverletzungen,” *Der Chirurg*, pp. 389–401, 2015.
15. W. Buhre und F. Wappler, „Notfallversorgung des Verbrennungspatienten – Von der Initialtherapie bis zum Schockraum,” *AINS – Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie*, pp. 100–107, 2009.
16. Sauer Müller G, Merkl I, Büttner J, Becker P (2019) Anästhesie in der Verbrennungschirurgie und plastisch-rekonstruktiven Chirurgie. In: *Die Anästhesiologie*. Springer-Verlag GmbH Deutschland, Aachen, Mainz und München, pp 1489–1498
17. V.-B. DGUV Fachbereich Erste Hilfe (2016) DGUV Fachbereich Erste Hilfe, Vorschriften und Fachinformationen, Weitere Fachinformationen. <https://www.dguv.de/fb-ersthilfe/vorschriften-und-fachinformationen/weitere-fachinformationen/index.jsp>. Accessed 24.11.2024
18. Pallua N, Low JFA (2003) Thermische, elektrische und chemische Verletzungen. In: Berger A, Hierner R (eds) *Plastische Chirurgie – Grundlagen, Prinzipien, Techniken*
19. Siemers F, Bergmann PA (2016) Stationäre Aufnahme, Prognose, verbrannte Körperoberfläche. In: Lehnhardt M, Hartmann B, Reichert B (Hrsg) *Verbrennungschirurgie*. Springer, Berlin Heidelberg
20. VRKJ, C JJ, R JC, F CC, GRV, L HW, CYR, Bettencourt SJ et al (2020) Updating the Burn Center Referral Criteria: Results From the 2018 eDelphi Consensus Study. *J Burn Care Res* 23(41):1052–1062
21. H M, A B, M M, M J, K M, M B, E E, M M, V C, M B, B A, J M, M S, T P, M P, H L, K M, M I, Vercruysse G (2019) Western Trauma Association critical decisions in trauma: Preferred triage and initial management of the burned patient. *J Trauma Acute Care Surg* 87(5):1239–1243
22. Barclay T, Stewart MPFMAHMLJMDJM (2025) Initial management of patients with burns and combined injuries. *J Trauma Acute Care Surg* 99(1):10–23
23. Foncerrada G, Culnan DM, Capek KD, González-Trejo S, Cambiaso-Daniel J, Woodson LC, Herndon DN, Finnerty CCLJO (2018) Inhalation Injury in the Burned Patient. *Annals of Plastic Surgery* 80:98–105
24. Rolf Rossaint CWBZ (2019) Anästhesie in der Verbrennungschirurgie und. In: *Die Anästhesiologie*. Springer Reference Medizin, pp 1489–1498
25. A. Saracoglu, T. Kuzucuoglu, S. Yakupoglu, O. Kilavuz, E. Tuncay, B. Ersoy und R. Demirhan, „Prognostic factors in electrical burns: A review of 101 patients,” *Burns*, pp. 702–707, 2014.
26. AlQhtani AZ, Al-swedan NH, Alkhunani TA, Basalem AA, Alotaibi AM, Alsaygh KW, AlSahabi AM, Alabdulkarim AO (2024) Knowledge, Attitudes, and Practices Regarding Electrical Burns. *Journal of Burn Care & Research* 45(2):478–486
27. R. Schweizer, N. Pedrazzi, H. J. Klein, T. Gentzsch, B.-S. Kim, P. Giovanoli und J. A. Plock, „Risk Factors for Mortality and Prolonged Hospitalization in Electric Burn Injuries,” *Journal of Burn Care & Research*, pp. 505–512, Mai / Juni 2021.
28. S. K. K. I. H. D. M. S. H. Y. C. M. Lee GK, „MR imaging findings of high-voltage electrical burns in the upper extremities: correlation with angiographic findings,” *Acta Radiol*, pp. 198–203, 2011.
29. L. HYF, H. HYQ, Ligen L GF (2012) Magnetic resonance imaging features of soft tissue and vascular injuries after high-voltage electrical burns and their clinical application. *Injury* 43(9):1445–1450
30. S. Vavricka, M. Vasella, G. R. Reid, N. Lindenblatt, P. Giovanoli und B.-S. Kim, „Basic Principles in the Management of Acute Burn Injuries in Adults,” *Praxis (Bern 1994)*, pp. 507–515, 2023.
31. Hirche C, Almeland SK, Dheansa B, Fuchs P, Governa M, Hoeksema H, Korzeniowski T, Lumenta DB, Marinescu S, Martinez-Mendez JR, Plock JA, Sander F, Ziegler B (2020) Eschar removal by bromelain based enzymatic debridement (Nexobrid) in burns: European consensus guidelines update. *Burns* 46(4):782–796
32. Atiyeh BS, Costagliola M (2007) Cultured epithelial autograft (CEA) in burn treatment: three decades later. *Burns* 33(4):405–413
33. T. Osler, L. G. Glance und D. W. Hosmer, „Simplified Estimates of the Probability of Death After Burn Injuries: Extending and Updating the Baux Score,” *The Journal of Trauma, Injury, Infection, and Critical Care*, pp. 690–697, 2010.
34. Bergmann PA, Siemers F (2016) Verbrennungswunden. In: Lehnhardt M, Hartmann B, Reichert B (Hrsg) *Verbrennungschirurgie*. Springer, Berlin Heidelberg
35. Ottomann C, Hartmann B, Branski L, Krohn C (2015) A tribute to Cicero Parker Meek. *Burns: journal of the International Society for Burn Injuries*. 41. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2015.06.013>

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.



Erstversorgung von Verbrennungen

Zu den Kursen dieser Zeitschrift: Scannen Sie den QR-Code oder gehen Sie auf www.springermedizin.de/kurse-notfall-und-rettungsmedizin

? Welche Zuordnung zwischen Verbrennungsgrad und -tiefe sowie klinischer Erscheinung ist richtig?

- ☐ Großflächiges rotes, sehr schmerzhaftes Exanthem – Grad III
- ☐ Verkohlte Gliedmaße – Grad III
- ☐ Blasenbildung, wenig schmerzhaft – Grad II
- ☐ Trockene Wunde mit hartem Wundgrund ohne Schmerzen – Grad I
- ☐ Große Blasen, sehr schmerzhaft – Grad IV

? In welchem der folgenden Fälle liegt keine Indikation für eine Verlegung in ein Verbrennungszentrum vor?

- ☐ 22-jähriger Patient mit 11 % zweitgradiger Verbrennung im Bereich der rechten Gesichtshälfte, des Halses bis zur rechten Schulter ziehend
- ☐ 17-jähriger Patient nach Sturz vom Dach mit Verbrennungen 2. Grades am gesamten rechten Arm und Femurfraktur
- ☐ 5-jähriges Kind mit Verbrühungen 2. Grades am Thorax
- ☐ 55-jähriger Patient, Rettung nach Schwellbrand ohne äußere Verletzungen, nun aber zunehmende Übelkeit mit Schwindel und kloßiger Stimme
- ☐ 12-jähriges Kind mit zweitgradigen Verbrühungen am linken Oberarm

? Welche Parameter umfasst der Abbreviated Burn Severity Index (ABSI)?

- ☐ Alter, Geschlecht, Inhalationstrauma, verbrannte Körperoberfläche, Verbrennung 3. Grades
- ☐ Alter, verbrannte Körperoberfläche, Begleitverletzungen
- ☐ Inhalationstrauma, Geschlecht, Alter, verbrannte Körperoberfläche, Verbrennungen 2. Grades
- ☐ Inhalationstrauma, Begleiterkrankungen, Verbrennung 3. Grades
- ☐ Psychologische Vorerkrankungen, Inhalationstrauma, verbrannte Körperoberfläche

? Welche Aussage zum Flüssigkeitsmanagement bei Verbrennungspatienten trifft zu?

- ☐ Die Parkland-Formel kann bereits präklinisch angewendet werden. Man rechnet dann mit der geschätzten verbrannten Körperoberfläche.
- ☐ Jede Form von Infusionslösungen kann bei Verbrennungspatienten verwendet werden.
- ☐ Bei einer Überinfusion muss man sich nur Gedanken bezüglich Ödemen in den Extremitäten und abdominell machen.

- ☐ Als klinische Parameter sollten individuelle Faktoren wie Blutdruck oder Urin-Output berücksichtigt werden.
- ☐ Der Flüssigkeitsbedarf wird körpergewichtsunabhängig aber trotzdem individuell nach verbrannter Körperoberfläche berechnet.

? In welchen der folgenden Fälle kann der Patient spontan atmend ohne Atemwegssicherung weiterversorgt werden?

- ☐ Bewusstlose Person nach Wohnungsbrand mit Verbrennungen 2. Grades v. a. an den Beinen.
- ☐ Patient nach Schwellbrand, wach, ansprechbar, kreislaufstabil mit zunehmend kloßiger Sprache und angestrenzter Atmung.
- ☐ Patient mit drittgradigen Verbrennungen, die v. a. den Thorax und Rücken zirkulär betreffen, sauerstoffsättigungsstabil unter 10 l O₂ via Maske
- ☐ 40-jährige Person mit zweitgradigen Typ-a-Verbrennungen die rechte Kopfhälfte betreffend mit Verbrennungen des Ohres bis hinunter zum Schlüsselbein.
- ☐ 18-jährige Person nach Sturz vom Zug mit Beckenfraktur und zweitgradigen Verbren-

Informationen zur zertifizierten Fortbildung

Ärzte: Diese Fortbildung wurde von der Ärztekammer Nordrhein für das „Fortbildungszertifikat der Ärztekammer“ gemäß § 5 ihrer Fortbildungsordnung mit 3 Punkten (Kategorie D) anerkannt und ist damit auch für andere Ärztekammern anerkennungsfähig.

Anerkennung in Österreich: Für das Diplom-Fortbildungs-Programm (DFP) werden die von deutschen Landesärztekammern anerkannten Fortbildungspunkte aufgrund der Gleichwertigkeit im gleichen Umfang als DFP-Punkte anerkannt (§ 14, Abschnitt 1, Verordnung über ärztliche Fortbildung, Österreichische Ärztekammer (ÖAK) 2013).

Rettungsdienstfachpersonal: Die Fortbildung für das Rettungsdienstfachpersonal wird durch das jeweils zuständige Landesrettungsdienstgesetz geregelt, wonach die Anerkennung den jeweils zuständigen Ausbildungsstätten obliegt. Die Teilnahmebescheinigung dieser Fortbildung ist dem Arbeitgeber zur Prüfung der Anerkennung vorzulegen.

Es gelten folgende Anerkennungen:

- Der Malteser Hilfsdienst erkennt 1,5 Fortbildungspunkte bei erfolgreichem Abschluss dieser Fortbildung an. Es wird ein Umfang von max. 10 Fortbildungspunkten jährlich für dieses Fortbildungsformat anerkannt.

- Die Akademie für Rettungsdienst und Gefahrenabwehr der Landesfeuerwehrschule erkennt 3 Fortbildungspunkte pro erfolgreichem Abschluss einer Fortbildung an.
- Die Feuerwehr München/Branddirektion erkennt 3 Fortbildungspunkte pro erfolgreichem Abschluss einer Fortbildung an.

Hinweise zur Teilnahme:

- Die Teilnahme an dem zertifizierten Kurs ist nur online auf www.springermedizin.de/cme möglich.
- Der Teilnahmezeitraum beträgt 12 Monate. Den Teilnahmeschluss finden Sie online beim Kurs.
- Die Fragen und ihre zugehörigen Antwortmöglichkeiten werden online in zufälliger Reihenfolge zusammengestellt.
- Pro Frage ist jeweils nur eine Antwort zutreffend.
- Für eine erfolgreiche Teilnahme müssen 70% der Fragen richtig beantwortet werden.
- Teilnehmen können Abonnenten dieser Fachzeitschrift und e.Med- und e.Dent

nungen am Thorax und am linken Arm.
Unter kontinuierlicher Infusion bei einem Blutdruck von 85/45 mm Hg

? Welche Aussage zur Pathophysiologie des Verbrenungstraumas trifft zu?

- ☐ Die Hyperpermeabilität der Kapillaren bildet sich erst nach 5 Tagen zurück, solange muss Flüssigkeit ersetzt werden.
- ☐ Ab der 2. Stunde nach dem Trauma eintritt kommt es bei höhergradigen Verbrennungen zu Hypovolämie mit Hämokonzentration sowie gleichzeitigen Ödemen.
- ☐ Das generalisierte Verbrennungsödem entsteht ab einer verbrannten Körperoberfläche > 50 %.
- ☐ Die häufigste Eintrittspforte für Infektionen bei Verbrennungspatienten stellen die Katheter dar.
- ☐ Führende Todesursache bei Verbrennungspatienten ist der Volumenmangelschock zu Beginn nach dem Trauma.

? Sie werden zu einem aus einer brennenden Wohnung geretteten 53-jährigen Menschen gerufen; welcher der folgenden Befunde schließt ein Inhalationstrauma am ehesten aus?

- ☐ Gesichtsverbrennungen
- ☐ Heiserkeit und Stridor
- ☐ Klare Sprache und klares Sekret
- ☐ Schluckbeschwerden
- ☐ Husten

? Welche Aussage stimmt bezüglich der Auswirkung einer Hypothermie auf Patienten?

- ☐ Bei guten Kühlungsmaßnahmen kann das Verbrennungsausmaß durch die auftretende Hypothermie reduziert werden.
- ☐ Die Gerinnungsfunktion wird durch die Hypothermie verbessert.
- ☐ Es tritt eine gute Wundheilung auf, wodurch Infektionen deutlich minimiert werden.
- ☐ Aufgrund einer Immunsuppression besteht eine erhöhte Sepsisgefahr.

- ☐ Das Auftreten von Herzrhythmusstörungen wird durch die Hypothermie verhindert.

? Welche Aussage zu Elektrotraumata trifft zu?

- ☐ Elektrotraumata zählen zu den häufigsten Verbrennungsunfällen und betreffen v.a. Erwachsene zu Hause oder in der Freizeit.
- ☐ Schäden entstehen abhängig von der Energie, die durch die Kontaktzeit und den Gesamtwiderstand bestimmt wird, und unabhängig von der Spannung.
- ☐ Bei Verdacht auf einen Stromunfall muss zum Ausschluss sekundärer Unfälle unbedingt das gesamte Achsenskelett untersucht werden.
- ☐ Auch wenn das initiale EKG keine Veränderungen aufweist, kann es im späteren Verlauf noch zu lebensbedrohlichen Herzrhythmusstörungen kommen.
- ☐ Ähnlich wie bei thermischen Verbrennungen tritt der größte Schaden unmittelbar an der Haut auf.

? Welche Aussage zum erweiterten Baux-Score ist richtig?

- ☐ Er beinhaltet neben dem Patientenalter und der verbrannten Körperoberfläche ebenfalls das Inhalationstrauma.
- ☐ Das Inhalationstrauma wird gleichgesetzt mit der doppelten verbrannten Körperoberfläche.
- ☐ Der erweiterte Baux-Score schließt Patienten ab dem 18. Lebensjahr ein.
- ☐ Die Prognose des erweiterten Baux-Scores gilt vermutlich als zu pessimistisch.
- ☐ Der Score gilt als besonders genau für die präklinische Prognose von Erwachsenen.