

Validierung innerklinischer Sichtungsalgorithmen für den Massenanfall von Verletzten – eine simulationsbasierte Studie – deutsche Version

Axel R. Heller, Tobias Neidel, Patrick J. Klotz, André Solarek, Barbara Kowalzik, Kathleen Juncken, Christian Kleber

Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Heller, Axel R., Tobias Neidel, Patrick J. Klotz, André Solarek, Barbara Kowalzik, Kathleen Juncken, and Christian Kleber. 2023. "Validierung innerklinischer Sichtungsalgorithmen für den Massenanfall von Verletzten – eine simulationsbasierte Studie – deutsche Version." *Die Anaesthesiologie* 72 (7): 467–76. <https://doi.org/10.1007/s00101-023-01291-3>.

Nutzungsbedingungen / Terms of use:

CC BY 4.0



Originalien

Anaesthesiologie 2023 · 72:467–476
<https://doi.org/10.1007/s00101-023-01291-3>
Online publiziert: 15. Juni 2023
© Der/die Autor(en) 2023



Validierung innerklinischer Sichtungsalgorithmen für den Massenanfall von Verletzten – eine simulationsbasierte Studie – deutsche Version

Axel R. Heller¹ · Tobias Neidel^{1,2} · Patrick J. Klotz¹ · André Solarek³ · Barbara Kowalzik⁴ · Kathleen Juncken⁵ · Christian Kleber⁶

¹ Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Medizinische Fakultät, Universität Augsburg, Augsburg, Deutschland; ² Interdisziplinäre Notaufnahme, Medizinische Fakultät, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein Campus Kiel, Kiel, Deutschland; ³ Stabsstelle Katastrophenschutz, Charité, Berlin, Deutschland; ⁴ Referat III.3 Schutz der Gesundheit, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn, Deutschland; ⁵ Medizinisches Direktorium, Städtisches Klinikum Dresden, Dresden, Deutschland; ⁶ Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie (OUP), Universitätsklinikum Leipzig AöR, Leipzig, Deutschland

Einleitung

Das zeitgleiche spontane Auftreten einer größeren Zahl Verletzter oder Erkrankter stellt sowohl präklinische als auch klinische Strukturen in der Notfallmedizin regelmäßig vor größere Herausforderungen [1–3]. Massenanfälle von Verletzten (MANV) sind zumindest anfänglich von einem erheblichen Ressourcenmangel gekennzeichnet [4, 5]. Zu diesem Zeitpunkt im Einsatzverlauf muss es das Ziel sein, die vorhandenen, aber spärlichen Ressourcen so effizient einzusetzen, dass trotzdem das Überleben möglichst vieler Patienten mit nachfolgend bestmöglicher Lebensqualität gesichert werden kann [5–7]. Hierzu dient die frühzeitige abgestufte Identifizierung der Patienten nach ihrem unmittelbaren Behandlungsbedarf, mit entsprechender Klassifikation in eine von 4 Sichtungskategorien (SK I–IV bzw. rot, gelb, grün und blau) und ihre Kennzeichnung [7–9].

Die hier dargestellte Sichtung findet sich in der deutschen juristischen Terminologie als „Ex-ante-Triage“: Sie wird angewendet „... wenn die Zahl der zu Behandelnden die verfügbaren Mittel überschreitet, so dass zwar vielleicht alle Patienten alternativ Chancen auf eine er-

folgreiche Behandlung haben, dies aber nicht gleichzeitig geschehen kann“ [10]. Die deutsche Rechtsprechung sieht dieses Szenario für die Akteure vor Ort als Kollision mehrerer gleichwertiger Handlungspflichten zur Rettung von Leben. Diese Kollision führt „... nach der gesetzlich zwar nicht geregelten, aber als Gewohnheitsrecht anerkannten Rechtsfigur der rechtfertigenden (Handlungs-) Pflichtenkollision dazu, dass nicht rechtswidrig handelt, wer nur so viele Menschen wie nach Ressourcenlage möglich rettet“ [10, 11].

Um diese Behandlungsriorisierung binnen kurzer Zeit einheitlich und präzise realisieren zu können, existieren unterschiedliche Vorsichtungsalgorithmen für die Prälkklinik [12, 13]. Diese wurden in den letzten Jahren zunehmend in Studien evaluiert [6, 13–17]. Die 7. Sichtungskonsensuskonferenz beim Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) hat 2017 auch auf der Basis vorangegangener Evaluationsdaten unserer Arbeitsgruppe [6] unter Mitarbeit von 22 Fachverbänden u.a. ein Anforderungsprofil für (Vor-)Sichtungsverfahren erstellt [18].

Die situationsbedingte Verknappung von Ressourcen endet lageabhängig nicht mit dem Abtransport der Patienten von

Zusatzmaterial online

Die Online-Version dieses Beitrags (<https://doi.org/10.1007/s00101-023-01291-3>) enthält die Sammlung der zusätzlich im Text erwähnten Abbildungen S1 und S2 und die Tabellen S1–S8.

Die vorliegende Publikation ist Teil der Promotionsschrift von P. Klotz an der medizinischen Fakultät der Universität Augsburg.

Dieser Artikel wurde von den Autoren ins Englische übersetzt. Dies ist die deutsche Version. Die englische Version dieses Beitrags ist unter <https://doi.org/10.1007/s00101-023-01292-2> zu finden.



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Originalien

der Einsatzstelle. Vielmehr setzt sie sich in Abhängigkeit von der Nutzung von Patientenverteilungsverfahren [5] in die aufnehmenden Kliniken fort [1, 19]. Hier muss eine erneute Sichtung der Patienten erfolgen; erstens um der Dynamik des Patientenzustands im Zeitverlauf gerecht zu werden [8, 9]. Zweitens muss lagebedingt auch damit gerechnet werden, dass am Einsatzort eine ärztliche Sichtung nicht durchgeführt werden kann [20] und eine erste Behandlungs- und Transportpriorisierung bis zum Krankenhaus nur durch nichtärztliches Personal erfolgt [21].

Um den ersten Arztkontakt der Patienten im Alltag einer Krankenhausnotaufnahme entsprechend ihrer aktuellen Behandlungsdringlichkeit zu priorisieren [3], werden in deutschen Notaufnahmen insbesondere das Manchester Triage System (MTS) [22] und der Emergency Severity Index (ESI) als Ersteinschätzungssysteme eingesetzt [23]. Für ihre Tauglichkeit in MANV-Lagen sind diese beiden Systeme jedoch bisher nicht evaluiert. Spezifisch auf die klinische Sichtung bei MANV zugeschnittene Algorithmen existieren kaum. Der Nutzen derartiger Algorithmen ist für die Präklinik gezeigt [13]. Über- oder Unterrangierungen führen aber dazu, dass Patienten nicht diejenigen Behandlungsressourcen erhalten, die ihrer tatsächlichen Behandlungsdringlichkeit entsprechen [9, 24, 25]. Aktuell sind das MANV-Modul des MTS [22] und der Berliner Sichtungsalgorithmus [24] die einzigen in Deutschland angewendeten Verfahren innerhalb von Krankenhäusern. Der Berliner Sichtungsalgorithmus wurde als einziger bis dato intern und extern validiert [24]. Ein systematischer Vergleich der unterschiedlichen innerklinischen Sichtungsalgorithmen anhand standardisierter Verletzter fehlt.

Ziel dieser Studie war es daher, zunächst analog zu eigenen Vorarbeiten aus der Präklinik [6] einen konsistenten Masterdatensatz an Patientenvignetten mit definierten Sichtungskategorien zu erstellen, die auch die erweiterten diagnostischen Fähigkeiten einer Krankenhausnotaufnahme abbilden. Hiermit ist es erstmals möglich, die vorhandenen klinischen Algorithmen zur Sichtung von Patienten in MANV-Lagen zu evaluieren. Um die Vergleichbarkeit mit Erkenntnissen aus der Präklinik herzustellen, wurden ebenso die weit verbreiteten

Zusammenfassung

Hintergrund: Die situationsbedingte Verknappung medizinischer Ressourcen endet bei einem Massenanfall von Verletzen (MANV)lageabhängig nicht mit dem Abtransport der Patienten von der Einsatzstelle. Folglich ist in den aufnehmenden Kliniken eine Eingangssichtung erforderlich. Ziel dieser Studie war es im ersten Schritt einen Referenz-Patientenvignettensatz mit definierten Sichtungskategorien zu erstellen. Dies erlaubte im zweiten Schritt, die rechnergestützte Evaluation der diagnostischen Güte klinischer Sichtungsalgorithmen für MANV-Lagen.

Methodik: In einen mehrstufigen Bewertungsprozess durch zunächst sechs, später 36 Sichtungsexperten gingen 250 in der Übungspraxis validierte Fallvignetten ein. Diese Algorithmen – unabhängige Expertenbewertung aller Vignetten – dienten als Goldstandard für die Analyse der diagnostischen Güte der folgenden innerklinischen Algorithmen: Manchester Triage System (MTS Modul MANV), Emergency severity Index (ESI), Berliner Sichtungsalgorithmus (BER), die prähospitalen Algorithmen PRIOR und mStaRT, sowie zwei Projektalgorithmen aus einer Kooperation des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) mit dem Haschemitischen Königreich Jordanien – innerklinischer jordanisch-deutscher Projektalgorithmus (JorD) und prähospitaler Sichtungsalgorithmus (PETRA). Jede Patientenvignette durchlief computergestützt eine Sichtung durch alle angegebenen Algorithmen, um vergleichend die Testgüte für alle Verfahren zu erheben.

Ergebnisse: Von den ursprünglich 250 Vignetten konnte eine Sichtungsreferenzdatenbank mit 210 Patientenvignetten algorithmenunabhängig validiert werden. Diese bildeten den Goldstandard für den Vergleich der analysierten Sichtungsalgorithmen. Die Sensitivitäten für die innerklinische Detektion von Patienten der Sichtungskategorie I lagen zwischen 1,0 (BER, JorD, PRIOR) und 0,57 (MANV-Modul MTS). Die Spezifitäten lagen zwischen 0,99 (MTS und PETRA) und 0,67 (PRIOR). Gemessen am Youden-Index ergab sich bei BER (0,89) und JorD (0,88) die beste Gesamtperformance für die Detektion von Patienten der Sichtungskategorie I. Eine Übertriage ist am ehesten bei PRIOR, eine Untertriage beim MANV-Modul von MTS zu erwarten. Bis zum Entscheid SK I benötigen die Algorithmen folgende Schrittzahlen (Median [IQR]): ESI 1 [1–2]; JorD 1 [1–4]; PRIOR 3 [2–4]; BER 3 [2–6]; mStaRT 3 [3–5]; MTS 4 [4–5]; PETRA 6 [6–8]. Für die SK II und III besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Schrittzahl bis zum Entscheid und der Testgüte.

Schlussfolgerung: In der vorliegenden Studie konnte eine Übertragbarkeit prähospitaler algorithmenbasierter Vorsichtungsergebnisse auf die Ergebnisse klinischer Algorithmen gezeigt werden. Die höchste diagnostische Güte für die innerklinischen Sichtung lieferten BER und JorD, die allerdings auch die meisten Algorithmuschritte bis zum Entscheid benötigen.

Schlüsselwörter

Katastrophenmedizin · Notfallvorsorge · Innerklinische Sichtung · Krankenhaus Alarm- und Einsatzplan · Notaufnahme

Vorsichtungsalgorithmen PRIOR [26] und mStaRT [16] mit in die Analyse aufgenommen. Ebenso werden 2 Projektalgorithmen aus einem internationalen Zivilschutzprojekt des BBK und dem Haschemitischen Königreich Jordanien evaluiert [27, 28].

Methodik

Aus den Notfallübungen Berliner Krankenhäuser, Dresdner Übungen und Einsatzdarstellungen der Berufsfeuerwehr Berlin standen 250 in der Übungspraxis validierte Fallvignetten ohne Patientenbezug mit entsprechenden medizinischen

Angaben zur Verfügung [25]. Entwickelt wurden die standardisierten Vignetten zur reproduzierbaren Vorbereitung der Mimen und als Rollenskripte für die in Berlin regelmäßig stattfindenden Krankenhausnotfallübungen der Jahre 2011–2015 [25]. Die Vignetten enthielten alle relevanten klinischen Informationen, um eine Eingangssichtung im Krankenhaus und Weiterversorgung zu simulieren. Bei entsprechenden Verletzungsmustern standen auch stichpunktartig die Ergebnisse ergänzender Bildgebung (Röntgen, Sonographie, Computertomographie) zur Verfügung. Als Rahmenszenario diente

eine außerklinische Großschadenslage, ohne Ressourcenlimitierung des Krankenhauses [25]. In einem zweistufigen Delphi-Verfahren wurden die 250 Fallvignetten durch 6 Mitglieder der 8. Sichtungskonsenskonferenz [8] zunächst unabhängig voneinander und verblindet auf Plausibilität und Vollständigkeit überprüft und einer entsprechenden Sichtungskategorie zugeordnet. In einer zweiten Validierungsrunde wurden uneinheitlich bewertete Vignetten diskutiert. Entweder konnte ein Konsens erzielt und die Fallvignetten entsprechend angepasst werden, oder die Fallvignetten wurden aus dem Vignettensatz entfernt. Ebenso wurden Duplikate aus der weiteren Beobachtung herausgenommen. Am Ende des Vorbereitungsprozesses verblieben 210 vorkonsentierte Fallvignetten zur Fortentwicklung zu einem Referenzdatensatz in der anschließenden breiteren Validierungsrunde durch die 36 Fachexperten.

Zur Bewertungskonsentierung der Sichtungskategorisierung des vorbereiteten Patientenvignettensatzes und zur Fortentwicklung zum Referenzdatensatz wurden die 210 verbliebenen Fallvignetten analog zu prähospitalen Vorarbeiten [6] einer Gruppe von 36 sichtungserfahrenen Notfallmediziner:innen vorgelegt. Die Sichtenden wurden durch das BBK bzw. in Abstimmung mit dem BBK persönlich eingeladen. Die Bewertungskonsentierung hinsichtlich der jeweiligen Sichtungskategorie erfolgte passwortgeschützt auf der Online-Befragungsplattform SoSci Survey [29]. Fünf eindeutige Bewertungsbeispiele wurden den Sichtenden pro Sichtungskategorie zur Orientierung vorgegeben. Sie wurden explizit gebeten, keine Algorithmen anzuwenden, sondern nach ihrer klinischen Erfahrung zu entscheiden. Somit liegen der Bildung der Referenzkategorien 7560 Sichtungsvorgänge zugrunde. Entsprechend der 8. Sichtungskonsenskonferenz von 2019/2020 [8] konnten für die Eingangssichtung im Krankenhaus nur die Sichtungskategorien SK I (rot), SK II (gelb) und SK III (grün) vergeben werden. Die Sichtungskategorie SK IV (blau) stand entsprechend dem Konsens der beteiligten Fachgesellschaften für die Eingangssichtung im Krankenhaus nicht zur Auswahl. Die Vergabe der Sichtungs-

kategorie SK IV (blau) kann im Rahmen einer Reevaluation im Behandlungsbereich der SK I (rot) bei tatsächlichem Ressourcenmangel erfolgen [8]. Als Vignettenindividueller Referenzwert der Sichtungskategorie wurde der Median der von den 36 Sichtenden festgelegten Sichtungskategorien für den Vergleich der Sichtungsalgorithmen herangezogen.

Für die vorliegende Studie wurden die klinischen Algorithmen *Manchester Triage System* (MTS, Modul MAnV [22]), *Emergency Severity Index* (ESI [23, 30]), der Berliner Sichtungsalgorithmus (BER [24]), die prähospitalen Algorithmen *Primäres Ranking zur Initialen Orientierung im Rettungsdienst* (PRIOR [26]) und *Modified Simple Triage and Rapid Treatment* (mSTaRT [31]), sowie 2 Sichtungsalgorithmen aus einem internationalen Zivilschutzprojekt des BBK mit dem Haschemitischen Königreich Jordanien, „JorD“ (innerklinisch, Zusatzmaterial online: Abb. S1 [27]) und „PETRA“ (prähospital, Zusatzmaterial online: Abb. S2 [28]) verwendet. Ziel dieser internationalen Zusammenarbeit ist es, die zivile jordanische Gefahrenabwehr durch Ausstattungshilfe, Ausbildung und konzeptionelle Beratung zu stärken. Im Teilprojekt „Gesundheitlicher Bevölkerungsschutz“ werden prähospitale und klinische Aspekte betrachtet und ausgebildet. Der prähospitale Sichtungsalgorithmus PETRA wurde am BBK 2018 von jordanischen Paramedics des Jordan Civil Protection Departments sowie von deutschen Experten entwickelt, später mit der jordanischen Zivilschutzbehörde (Civil Defence Directorate) abgestimmt und seitdem landesweit ausgebildet. Für den innerklinischen Sichtungsalgorithmus arbeiteten jordanische und deutsche Ärzte zusammen. In dem Workshop wurden 2018 am BBK-Kriterien erarbeitet, die später zu einem Algorithmus zusammengeführt und dem jordanischen Gesundheitsministerium zur weiteren Verwendung und Anpassung zur Verfügung gestellt wurden. Da die prähospitalen Algorithmen PRIOR und mSTaRT in Vorarbeiten bereits evaluiert worden waren [6] und in ihrer Anwendung in Deutschland verbreitet sind, wurden diese Verfahren zur externen Validierung des neuen Referenzdatensatzes mitgeführt.

Alle Algorithmen wurden in Microsoft Excel-Syntax (Microsoft, München, Deutschland) übersetzt, sodass für jeden Patientenfall in der Excel-Datenbank eine Sichtungskategorie entsprechend der jeweiligen Algorithmen automatisiert berechnet werden konnte (Zusatzmaterial online, Tab. S1–S7). Daneben gibt die Excel Syntax auch aus, nach wie vielen Schritten der jeweilige Algorithmus verlassen wurde. Hierzu musste die Datenbank in ein annähernd binäres Format umgewandelt werden, indem die Spalten das Ergebnis der jeweiligen Abfrage der Algorithmen enthielten. Um die Komplexität der Datenbank einzuschränken, wurden sinngemäß ähnliche Abfragen der Algorithmen zusammengefasst (z.B. „instabiles Becken“ und „Beckenfraktur“ zur gemeinsamen Spalte „Beckenfraktur“, „Atemfrequenz > 29/min“ und „Atemfrequenz > 20/min“ zur gemeinsamen Spalte „Atemfrequenz > 29/min“, „FAST positiv“ und „FAST negativ“ zur gemeinsamen Spalte „FAST“ ...). Eine Übersicht der Anpassungen und der Abfragen der Algorithmen ist im Zusatzmaterial online zu finden. Das Ergebnis der Abfragen der Algorithmen wurde wie folgt kodiert:

- „0“ → Abfrage ist mit „nein“ zu beantworten,
- „1“ → Abfrage ist mit „ja“ zu beantworten,
- „n“ → Ergebnis der Abfrage ist aus dem vorhandenen Datensatz inhaltlich nicht ableitbar.

Bei der Abfrage nach der vermuteten Anzahl an benötigten Ressourcen im Algorithmus ESI wurde entsprechend den ESI-Vorgaben „0 – keine Ressourcen“, „1 – eine Ressource“ und „2 – viele Ressourcen“ kodiert [23]. Die ESI-Level 1 und 2 wurden den Sichtungskategorien SK I (rot) bzw. SK II (gelb) zugeordnet. Die ESI-Level 3–5 wurden in der SK III (grün) zusammengefasst.

Nach entsprechender Vorbereitung der Datenbank wurden die Sichtungskategorien und die Anzahl der Algorithmen schritte bis zum Feststehen einer Entscheidung entsprechend den jeweiligen Algorithmen automatisiert für jede Patientenvignette berechnet. Anschließend wurden diese von den Algorithmen erzeugten Sichtungskategorien im Ver-

Originalien

Tab. 1 Testgüte der untersuchten Sichtungsalgorithmen für die Detektion der eines Zustands entsprechend der Sichtungskategorie I (rot). Je höher die Sensitivität, desto geringer die Untertriage, je höher die Spezifität, desto geringer die Übertriage								
Sichtungskategorie I (rot)		BER	ESI	MTS	JorD	PETRA	PRIOR	mSTaRT
Sensitivität		1,00	0,80	0,57	1,00	0,73	1,00	0,92
Spezifität		0,89	0,89	0,99	0,88	0,99	0,67	0,92
PPV		0,73	0,70	0,97	0,71	0,95	0,48	0,78
NPV		1,00	0,94	0,88	1,00	0,92	1,00	0,97
Youden-Index		0,89	0,69	0,57	0,88	0,72	0,67	0,84
Untertriage		0,0 %	20,4 %	42,9 %	0,0 %	26,5 %	0,0 %	8,2 %
Algorithmusschritte	Korrekt	3 (2–3)	1 (1–1)	4 (4–4)	1 (1–3)	6 (6–6)	3 (2–3)	3 (3–4)
	Untertriage	Keine	2 (2–2)	5 (1–5)	Keine	1 (1–8)	Keine	1 (1–3,5)
	Gesamt	3 (2–6)	1 (1–2)	4 (4–5)	1 (1–4)	6 (6–8)	3 (2–4)	3 (3–5)

Algorithmusschritte als Mediane (IQR), Signifikanzwerte im Zusatzmaterial online: Tab. S8
PPV positiv prädiktiver Vorhersagewert, **NPV** negativ prädiktiver Vorhersagewert. Der **Youden-Index** [32] fasst Sensitivität und Spezifität in einem Wert zusammen und steigt mit der Trennschärfe der Algorithmen, **BER** Berliner Sichtungsalgorithmus [24], **ESI** Emergency Severity Index [23], **MTS** Manchester Triage System – MANV Modul [22], **JorD** Jordanisch-Deutscher Projektalgorithmus Klinik [27], **PETRA** Prehospital Emergency Triage Rapid Algorithm [28], **PRIOR** Primäres Ranking zur Initialen Orientierung im Rettungsdienst [26], **mSTaRT** Modified Simple Triage and Rapid Treatment [16]

Tab. 2 Testgüte der untersuchten Sichtungsalgorithmen für die Detektion der eines Zustands entsprechend der Sichtungskategorie II (gelb). Je höher die Sensitivität, desto geringer die Untertriage, je höher die Spezifität, desto geringer die Übertriage								
Sichtungskategorie II (gelb)		BER	ESI	MTS	JorD	PETRA	PRIOR	mSTaRT
Sensitivität		0,38	0,22	0,16	0,11	0,27	0,02	0,13
Spezifität		0,90	0,78	0,73	0,99	0,75	0,99	0,81
PPV		0,52	0,21	0,14	0,83	0,22	0,33	0,16
NPV		0,84	0,79	0,76	0,80	0,79	0,79	0,77
Youden-Index		0,28	0,00	-0,11	0,11	0,01	0,01	-0,06
Übertriage		35,6 %	33,3 %	2,2 %	40,0 %	4,4 %	51,1 %	24,4 %
Untertriage		26,7 %	44,4 %	82,2 %	48,9 %	68,9 %	46,7 %	62,2 %
Algorithmusschritte	Korrekt	10 (9–14)	2 (2–2)	5 (5–5)	9 (9–9)	8 (8–8)	7 (7–7)	6 (6–6)
	Übertriagiert	3 (2–3)	1 (1–1)	4 (4–4)	4 (2–4)	6 (6–6)	5 (3–5)	5 (3–5)
	Untertriagiert	17 (17–17)	4 (4–4,5)	1 (1–1)	11 (11–11)	1 (1–1)	8 (8–8)	1 (1–1)
	Gesamt	9 (3–17)	2 (1–5)	1 (1–5)	9 (4–11)	1 (1–8)	6 (5–8)	1 (1–6)

Algorithmusschritte als Mediane (IQR), Signifikanzwerte im Zusatzmaterial online: Tabelle S8
PPV positiv prädiktiver Vorhersagewert, **NPV** negativ prädiktiver Vorhersagewert. Der **Youden-Index** [32] fasst Sensitivität und Spezifität in einem Wert zusammen und steigt mit der Trennschärfe der Algorithmen, **BER** Berliner Sichtungsalgorithmus [24], **ESI** Emergency Severity Index [23], **MTS** Manchester Triage System MANV Modul [22], **JorD** Jordanisch-Deutscher Projektalgorithmus Klinik [27], **PETRA** Prehospital Emergency Triage Rapid Algorithm [28], **PRIOR** Primäres Ranking zur Initialen Orientierung im Rettungsdienst [26], **mSTaRT** Modified Simple Triage and Rapid Treatment [16]

Tab. 3 Testgüte der untersuchten Sichtungsalgorithmen für die Detektion der eines Zustands entsprechend der Sichtungskategorie III (grün). Je höher die Sensitivität, desto geringer die Untertriage, je höher die Spezifität, desto geringer die Übertriage								
Sichtungskategorie III (grün)		BER	ESI	MTS	JorD	PETRA	PRIOR	mSTaRT
Sensitivität		0,84	0,74	0,72	0,97	0,68	0,72	0,72
Spezifität		0,87	0,78	0,51	0,77	0,59	0,78	0,67
PPV		0,89	0,80	0,65	0,84	0,67	0,80	0,73
NPV		0,82	0,71	0,60	0,96	0,60	0,70	0,66
Youden-Index		0,72	0,52	0,23	0,74	0,27	0,50	0,39
Übertriage		15,5 %	25,9 %	27,6 %	2,6 %	31,9 %	27,6 %	28,4 %
Algorithmusschritte	Korrekt	17 (17–17)	5 (5–5)	1 (1–1)	11 (11–11)	1 (1–1)	8 (8–8)	1 (1–1)
	Übertriagiert	8 (8–10)	2 (2–2)	5 (5–5)	4 (2–9)	8 (8–8)	6 (6–6)	6 (6–6)
	Gesamt	17 (17–17)	5 (2–6)	1 (1–5)	11 (11–11)	1 (1–8)	8 (6–8)	1 (1–6)

Algorithmusschritte als Mediane (IQR), Signifikanzwerte im Zusatzmaterial online: Tab S8
PPV positiv prädiktiver Vorhersagewert, **NPV** negativ prädiktiver Vorhersagewert. Der **Youden-Index** [32] fasst Sensitivität und Spezifität in einem Wert zusammen und steigt mit der Trennschärfe der Algorithmen, **BER** Berliner Sichtungsalgorithmus [24], **ESI** Emergency Severity Index [23], **MTS** Manchester Triage System MANV Modul [22], **JorD** Jordanisch-Deutscher Projektalgorithmus Klinik [27], **PETRA** Prehospital Emergency Triage Rapid Algorithm [28], **PRIOR** Primäres Ranking zur Initialen Orientierung im Rettungsdienst [26], **mSTaRT** Modified Simple Triage and Rapid Treatment [16]

gleich zur Referenzsichtungskategorie hinsichtlich ihrer diagnostischen Güte analog unserer prähospitalen Voruntersuchung [6] ausgewertet. Die statistische Auswertung erfolgte mit Microsoft Excel. Bestimmt wurden Sensitivität, Spezifität, NPV, PPV und Youden-Index für die Sichtungskategorien I–III. Der Youden-Index [32] fasst die Sensitivität und Spezifität gleichwertig zusammen ($\text{Youden-Index} = \text{Sensitivität} + \text{Spezifität} - 1$). Außerdem wurden die Algorithmen auch hinsichtlich einer Über- und Untertriage bewertet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine Patientenvignette mit der SK I (rot) neben ihrer korrekten Einstufung nur untertriagiert werden kann (■ Tab. 1). Bei SK II (gelb) sind neben der korrekten Einstufung beide anderen Ausgänge möglich (■ Tab. 2). Bei der SK III (grün) kann nur korrekt oder übertriagiert werden (■ Tab. 3).

Die inferenzstatistische Auswertung der Algorithmusschritte erfolgte mit SPSS Version 24 (IBM, Ehningen, Deutschland). Bei wie hier vorliegend fehlender Varianzgleichheit sind Mediane mit Interquartilsabstand (IQR) angegeben. Zum statistischen Vergleich der Anzahl von Schritten bis zum Entscheid durch die Algorithmen wurde eine univariate Varianzanalyse mit dem Dunnett-T3-Post-hoc-Test für multiples Testen bei fehlender Varianzgleichheit eingesetzt. Eine statistische Signifikanz wurde bei $p < 0,05$ angenommen.

Ergebnisse

Nach initialer Entfernung von Dubletten bzw. von Vignetten, zu denen im vorbereitenden Delphi-Prozess keine Einheitlichkeit in der Bewertung gefunden werden konnte, standen 210 Patientenvignetten für den Aufbau der Referenzdatenbank zur Verfügung. Die Rücklaufrate der Bewertung lag aufgrund der individuellen vertraglichen Vereinbarung des BBK mit allen Sichtenden bei 100%. Alle Expertensichtungen konnten zur Auswertung herangezogen werden. Somit lagen für die Bildung der Patientenvignettenreferenzdatenbank 7560 Sichtungsvorgänge von 36 Sichtenden vor. Die aus dieser Referenzbildung hervorgegangenen medianen Sichtungsergebnisse für die 210 Patientenvignetten

bildeten den Goldstandard für den Vergleich der 7 betrachteten Sichtungsalgorithmen miteinander.

■ Abb. 1 zeigt die Auswertung der Algorithmen hinsichtlich der Sichtungskategorie I (rot) in einer Receiver-Operating-Charakteristik. Detaillierte Ergebnisse sind in ■ Tab. 1 dargestellt. Die berechneten Sensitivitäten für die Detektion von Patienten der Sichtungskategorie I lagen zwischen 1,0 (Berliner Algorithmus, JorD und PRIOR) und 0,57 (MANV-Modul MTS). Die Spezifitäten lagen zwischen 0,99 (MTS und PETRA) und 0,67 (PRIOR). Die höchste Sensitivität zur Detektion einer Sichtungskategorie I (rot) erreichten der Berliner Sichtungsalgorithmus, JorD und PRIOR. Die höchste Spezifität zeigten die Algorithmen MTS und PETRA. Bei Betrachtung des Youden-Index ergab sich für den Berliner Sichtungsalgorithmus die beste Gesamtperformance (0,89), unmittelbar gefolgt vom innerklinischen Jordanisch-Deutschen Projektalgorithmus (JorD) mit 0,88. Von den hier ausgewerteten Algorithmen neigt am ehesten PRIOR zu einer Über- und das MANV-Modul von MTS zu einer Untertriage.

Insgesamt ist die Genauigkeit der Algorithmen für die Detektion von Patienten der Sichtungskategorien II (gelb) und SK III (grün) deutlich schlechter als für die der Sichtungskategorie I (rot). Für die Sichtungskategorie II (gelb) (■ Tab. 2) lagen die berechneten Sensitivitäten zwischen 0,38 (BER) und 0,02 (PRIOR). Die Spezifitäten lagen zwischen 0,99 (JorD und PRIOR) und 0,73 (MTS). Bei Betrachtung des Youden-Index zeigte ebenfalls der Berliner Sichtungsalgorithmus die beste Gesamtperformance (0,28).

Für die Detektion von Patienten der Sichtungskategorie III (grün) (■ Tab. 3) lagen die berechneten Sensitivitäten zwischen 0,97 (JOR) und 0,68 (PETRA). Die Spezifitäten lagen zwischen 0,87 (BER) und 0,51 (MTS). Bei Betrachtung des Youden-Index zeigten JorD (0,74) und BER (0,72) für die Erkennung von Patienten der Sichtungskategorie III (grün) die beste Gesamtperformance.

Über alle Sichtungskategorien hinweg zeigten sich bis zum Feststehen einer Entscheidung durch die unterschiedlichen Algorithmen folgende Schrittanzahlen (Median [IQR]) in absteigender Reihenfolge:

BER 17 [3–17]; JorD 11 [4–11]; PRIOR 7,5 [4–8]; ESI 4 [1–5]; PETRA 1 [1–8] und 1 [1–4] Schritte, sowohl mit mSTAERT als auch dem MANV Modul von MTS. Die ■ Tab. 1, 2 und 3 geben die jeweiligen Schrittanzahlen, getrennt nach Sichtungskategorien und erzielter Korrektheit, an. Die Unterschiede wiesen in der ANOVA einen p -Wert $< 0,001$ auf. Die Ergebnisse der Einzelvergleiche sind im Zusatzmaterial online: Tab S8 angegeben.

Diskussion

In den letzten Jahren wurden vermehrt Studien durchgeführt, um prähospitale Vorsichtungsalgorithmen zu evaluieren [6, 13–17]. Demgegenüber fehlen Untersuchungen zu klinischen Sichtungsalgorithmen. Insbesondere für den gegenwärtigen Leitlinienprozess in der innerklinischen Katastrophenmedizin [33] sind belastbare Empfehlungsgrundlagen nicht verfügbar. Aus diesem Grund hatte die vorliegende Studie das Ziel, bereits existierende und neu entwickelte klinische Sichtungsalgorithmen zu evaluieren und zu vergleichen. Eines der Hauptergebnisse dieser Studie ist die erstmalige Etablierung eines Masterdatensatzes von 210 Verletztenvignetten, die von insgesamt 36 nationalen Experten validiert wurden. Dieser Masterdatensatz bietet für die Zukunft die Möglichkeit, neue Sichtungsalgorithmen zu validieren und existierende Algorithmen zu verbessern. Um eine Vergleichbarkeit mit Studien zu prähospitalen Vorsichtungsalgorithmen herzustellen, wurden in die Berechnungen auch PRIOR [26], mSTAERT [16] und PETRA (Zusatzmaterial online: Abb. S2) integriert.

Vor-/Sichtungsalgorithmen haben zum Ziel, Patienten eines Massenanfalls von Verletzten (MANV), entsprechend ihrem Verletzungsmuster, möglichst präzise in eine Sichtungskategorie einzustufen. Hierbei besitzt die Sichtungskategorie I (rot) eine besondere Relevanz, da für diese Patienten unmittelbare und akute Lebensgefahr besteht [8, 9]. Daher ist es von großer Bedeutung, dass Vor-/Sichtungskonzepte insbesondere diese Patienten zuverlässig erkennen. In vorgegangenen Studien [6, 14, 15] konnten wir zeigen, dass insbesondere die Algorithmen der START-Familie diesen Anspruch prähospital erfüllen, wäh-

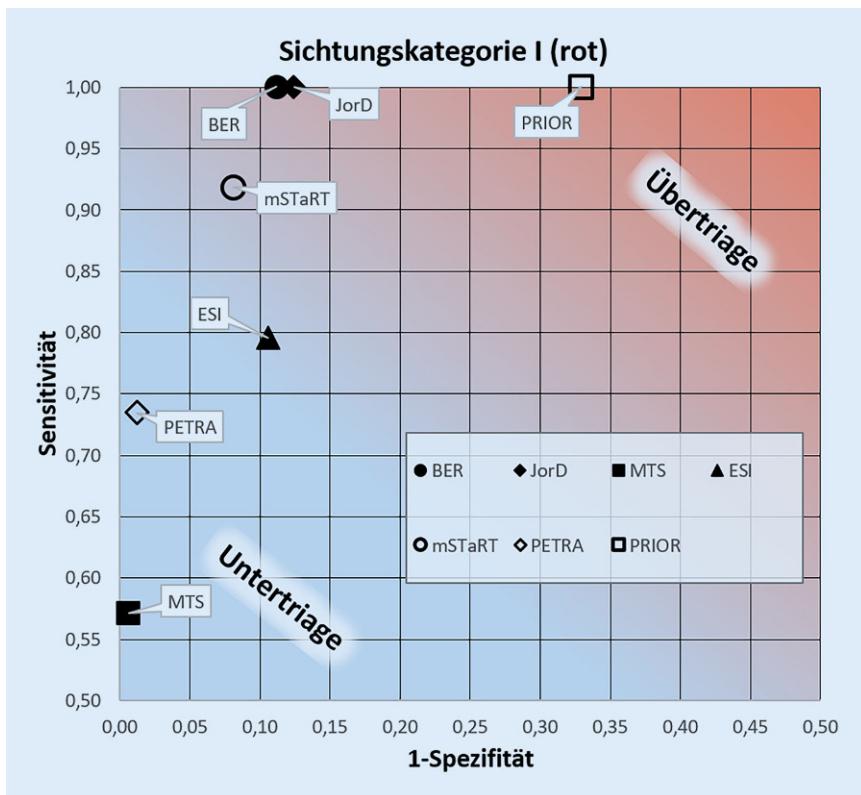


Abb. 1 ▲ Testqualität von Sichtungsverfahren für die Erkennung Schwerverletzter der Sichtungskategorie I (rot). Ausgefüllte Symbole innerklinische Algorithmen: BER Berliner Sichtungsalgorithmus [24], JordD Jordanisch-Deutscher Projektalgorismus Klinik [27], MTS Manchester Triage System – MANV Modul [22], ESI Emergency Severity Index [23]; leere Symbole Präklinik: PETRA Prehospital Emergency Triage Rapid Algorithm [28], PRIOR Primäres Ranking zur initialen Orientierung im Rettungsdienst [26], mSTaRT Modified Simple Triage and Rapid Treatment [16]; Sensitivität Anteil korrekter Einschlüsse, Spezifität Anteil korrekter Ausschlüsse

rend PRIOR [26] maßgeblich über- bzw. der Field Triage Score [34] erheblich untertriagiert. In der vorliegenden Untersuchung ergab sich für die Patienten der Sichtungskategorie I (rot) über alle Verfahren hinweg eine Sensitivität von überwiegend $\geq 0,8$ (Abb. 1). Als negativer Ausreißer fällt hierbei das MANV-Modul der Manchester Triage (MTS) mit einer Sensitivität von lediglich 0,57 auf. Ebenso konnte für die meisten Algorithmen eine hohe Spezifität für die Detektion der Sichtungskategorie I (rot) von deutlich über 0,8 gezeigt werden (Abb. 1). Als Schlusslicht zeigte sich hier ähnlich wie in der prähospitalen Evaluation [6] die Spezifität des PRIOR-Algorithmus mit 0,67.

Damit lässt sich festhalten, dass die untersuchten Algorithmen dem Anspruch einer präzisen Erkennung der Patienten der SK I in unterschiedlichem Maß gerecht werden. Dies deckt sich ebenso mit vorangegangenen Studien [6, 16, 35]. Allerdings

ist es ein immanentes Problem aller diagnostischen Tests, dass sich eine hohe Sensitivität, also hier die Erkennung aller lebensbedrohlich Verletzten, nur zulassen der Spezifität erreichen lässt und eine Übertriagerung wahrscheinlicher macht (Abb. 1). Um eine balancierte Betrachtung von Sensitivität und Spezifität (hier Gefahr Untertriagierung) zu ermöglichen, wurde der Youden-Index [32], der sowohl Sensitivität als auch Spezifität zu einem Rechenwert zusammenfasst und eine höhere Diskriminierungsfähigkeit mit steigenden Werten anzeigt, für alle untersuchten Algorithmen angegeben.

Hinsichtlich der Vergleichbarkeit von prähospitalen zu klinischen Algorithmen zeigt sich eine weitgehend gute Übereinstimmung (Abb. 1). Dies ist insbesondere aus prozessqualitativer Sicht positiv hervorzuheben, da dadurch der Transfer von Informationen aus der Präklinik in die Klinik erleichtert wird [5]. Insbesonde-

re korrespondieren die prähospitalen Vorsichtungsergebnisse bei Zugrundelegung der gewählten Zuordnung mit den ESI-Levels. Dies ermöglicht es den jeweiligen Teams (prähospital vs. klinisch), ihre gewohnten Algorithmen anzuwenden, ohne dass dadurch Brüche in der Einstufung in die Sichtungskategorien resp. der ESI-Level entstehen. Bemerkenswert einheitliche Ergebnisse haben die Berechnungen insbesondere für die Übertragung von SK I auf ESI-Level 1 ergeben. Außerdem zeigen die Daten, dass die Patienten der SK III grundsätzlich in den ESI-Levels 3–5 zusammengefasst werden müssen. Eine genauere Unterteilung der ESI-Levels 3–5 kann dann in den Notaufnahmen z.B. in den Eingangssichtungen erfolgen.

Die höchste Testgüte für die Detektion der SK I (rot) lieferte jedoch der Berliner Sichtungsalgorithmus. Mit einer Sensitivität von 1,0 und einer Spezifität von 0,89 ist er, bezogen auf Über- und Untertriage, der ausgewogenste Algorithmus dieser Evaluation; allerdings dicht gefolgt vom innerklinischen Jordanisch-Deutschen Projektalgorismus (JordD) für die klinische Sichtung (Zusatzmaterial online: Abb. S1, [27]), und von mSTaRT [16]. Die in Notaufnahmen eingesetzten MTS- und ESI-Algorithmen zeigten im Vergleich schlechtere Ergebnisse, weshalb die Autoren die Vorhaltung einen speziellen klinischen Sichtungsalgorithmus für MANV empfehlen.

Das Akaike-Informationskriterium [36] fordert, dass ein Modell das eine geringere Komplexität aufweist, bei gleicher Güte zu bevorzugen ist. Die Anzahl der Parameter bzw. Abfrage-Items wird dabei „strafend“ berücksichtigt. Übertragen auf Sichtungsalgorithmen ist ein einfacherer Algorithmus schneller in der Durchführung [6, 37] und auch leichter zu schulen [18, 38]. Zudem können einfache Algorithmen auch unproblematisch in Form von schneller abzuarbeitenden Checklisten ausgeführt werden [39, 40], allerdings ggf. mit der Einschränkung einer geringeren Präzision, wie später weiter ausgeführt wird.

In der vorliegenden Arbeit konnte die Zeitdauer der Algorithmdurchläufe anhand der computergestützten Simulation nicht vergleichend bestimmt werden, wie es mit menschlichen Sichtern möglich gewesen wäre. Hilfsweise kann nur die Anzahl der durchlaufenen Schritte bis zum

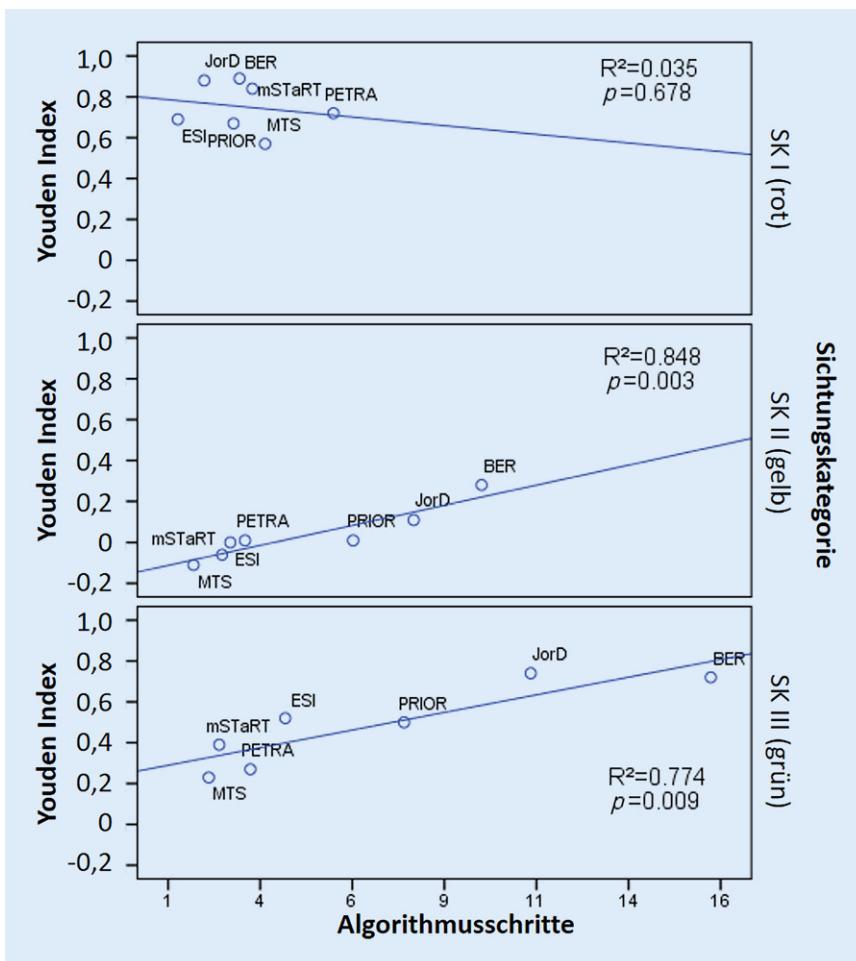


Abb. 2 ▲ Testgüte (Youden-Index) der Triage-Algorithmen in Relation zu den durchschnittlich benötigten Algorithmusschritten bis zur Entscheidung nach Triage-Kategorien. *BER* Berliner Klinik-Algorithmus [24], *ESI* Emergency Severity Index [23], *MTS* Manchester Triage System MANV Modul [22], *JorD* Jordanisch-Deutscher Projektalgorismus Klinik [27], *PETRA* Prehospital Emergency Triage Rapid Algorithm [28], *PRIOR* Primäres Ranking zur Initialen Orientierung im Rettungsdienst [26], *mStaRT* Modified Simple Triage and Rapid Treatment [16]

Ergebnis herangezogen werden [6]. Aus einer Evaluierungsstudie des PRIOR-Algorithmus [37] ist bekannt, dass die die Sichtung der SK-III-Patienten mit 42 s sowohl gegenüber den anderen SK als auch dem mStaRT-Algorithmus am längsten gedauert hat. Der Sichtungsvorgang wurde bei PRIOR für SK I, II, III mit 27, 28 resp. 42 s und bei mStaRT mit 35, 20 resp. 10 s angegeben. Werden Zeitansätze verglichen, muss die Verteilung der SK in der betrachteten Kohorte miteinfließen. Bei einer Patientenverteilung SK I, II, III, EX von 15 %, 20 %, 60 % resp. 5 % in 100 Patienten, die nach PRIOR gesichtet werden, entstehen Zeitaufwände für die Sichtung der SK III von 42 min. Im Vergleich dazu liegt der Zeitaufwand bei mStaRT für diese Kategorie bei 10 min. Verschiebt sich die Patientenver-

teilung noch weiter zugunsten der SK III wie bei der von Brüne [2] gefundenen Gesamtverteilung bei MANV (SK I, II, III von 7 %, 19 % resp. 74 %), dann werden mit dem PRIOR-Verfahren 81 % der Sichtungszeit bei Leichtverletzten verwendet. Variationen der Item-Abfolge innerhalb eines Algorithmus [15] oder ihr vorzeitiger Abbruch können sowohl die diagnostische Genauigkeit als auch die Dauer bis zum Entscheid je nach Algorithmus positiv oder negativ beeinflussen.

Über die Sichtungskategorien hinweg benötigen sowohl BER mit 17 [3–17] als auch JorD mit 11 [4–11] signifikant mehr Schritte als alle anderen Algorithmen. Doch diese isolierte und übergreifende Betrachtung eignet sich nicht, um den Erfüllungsgrad der Aufgabenstellung

von Sichtungsalgorithmen zu beurteilen. Nach der Vorgabe der 7. Sichtungskonsensuskonferenz [18] sollen Algorithmen folgende Eigenschaften in absteigender Gewichtung besitzen:

- Patienten der SK I (rot) schnell identifizieren,
- zuverlässige Identifizierung (Über- und Untertriage vermeiden),
- geringer Zeitaufwand,
- einfach anwendbar,
- einfach erlernbar.

Daher ist eine vergleichende Betrachtung des Zeitaufwandes oder die eines Surrogatparameters wie der Anzahl von Algorithmusschritten *nach Sichtungskategorien* maßgeblich. Die wenigsten Schritte bis zur korrekten Identifikation der SK-I(Rot)-Patienten benötigen ESI (1 [1–1]) und JorD (1 [1–3]), ESI triagiert dabei aber 20,4 % der tatsächlich SK-I(Rot)-Patienten in die SK II (gelb) (Abb. 1). Allerdings findet sich entsprechend Abb. 2 oben kein statistischer Zusammenhang zwischen Testgüte und den Algorithmusschritten bei der SK I (rot). Die Problematik einfacherer Sichtungsalgorithmen spiegelt sich gerade in der Diskrimination von SK-II(Gelb)-Patienten wider, da hier eine Fehleinschätzung in beide Richtungen möglich ist [24]. Dieser Effekt wurde im Rahmen der Entwicklung und Validierung des Berliner Sichtungsalgorithmus nachgewiesen und zugunsten einer besseren Diskrimination von 5 gelben Diskriminanten auf 9 erhöht [24]. Entsprechend werden beim BER für eine korrekte Identifizierung von Patienten der SK II mit insgesamt 10 [9–14] die meisten Schritte benötigt (Abb. 2). Dadurch wurde eine Verbesserung der Treffsicherheit, allerdings zuungunsten der Anzahl der Diskriminanten erzielt. Eine höhere Treffsicherheit für die SK II hat, wie auch Abb. 2 Mitte zeigt, den Preis eines komplexeren Algorithmus (SK II, Youden-Index BER 0,28 vs. JorD 0,11).

Betrachtet man den mutmaßlichen Zeitaufwand für die Identifikation von Leichtverletzten (SK III (grün)), so muss konstatiert werden, dass auch hier die Algorithmen mit der besten Diskriminierungsfähigkeit die meisten Schritte und damit annehmbar auch die längste Zeit für eine korrekte Entscheidung benötigen (Abb. 2 unten: BER (17 [17–17])

vs. JorD (11 [11–11]) Schritte. Dies ist jedoch durch die Priorisierung der Detektion von SK-I-Patienten bedingt. Bei regulär funktionierendem Rettungsdienst mit Transportpriorisierung werden in Kliniken auch zuerst SK-I-Patienten eintreffen. Ausnahme stellen hier Szenarien mit relevanter Anzahl an Selbsteinweisern dar. Weiter oben wurde dieses Problem bereits für den PRIOR-Algorithmus diskutiert: Wenn bei einem zufälligen Eintreffen klar ist, dass der größte Zeitaufwand für die Identifikation der Leichtverletzten besteht, dann muss sichergestellt werden, dass kein Schwerverletzter in einer Warteschlange die korrekte Identifikation von Leichtverletzten abwarten muss. Zur Lösung dieses Dilemmas wurde bereits in der 8. Sichtungskonsensuskonferenz eine Zugangskoordination zum Sichtungspunkt gefordert. „*Lageabhängig kann ärztliches oder medizinisches Fachpersonal den Zugang zur Klinik koordinieren mit dem Ziel, offensichtlich vital bedrohte Patienten zu identifizieren. Dadurch sollen diese Patienten schneller dem Sichtungsprozess zugeführt werden. Dieses Vorgehen ersetzt nicht die klinische Sichtung*“ [8].

Unabhängig davon konnte für den prähospitalen PRIOR-Algorithmus gezeigt werden, dass die schlichte Umstellung des Abfrage-Items „Gehfähigkeit“ vom Ende an den Anfang des Algorithmus nicht nur dessen Diskriminierungsfähigkeit deutlich verbessert [15]: Es ergibt sich weiterhin, dass sich die Gesamtzahl der für eine Patienten Kohorte abzuarbeitenden Algorithmusschritte durch eine solche Umstellung abnimmt. Entsprechend wäre zu prüfen, ob die hier untersuchten Algorithmen durch eine ähnliche Umstellung der Abfrage-Items noch weiter verbessert werden können.

Einen weiteren Aspekt stellt der zeitliche Aufwand der administrativen Aufnahme in den Kliniken dar. Aus Erfahrung der Autoren benötigt dies am Sichtungsplatz trotz vorbereiteter Katastrophenakten am meisten Zeit, sodass der zeitliche Aufwand des Sichtungsalgorithmus selbst eher in den Hintergrund tritt.

Unter Berücksichtigung der geführten Diskussion muss letztlich der Anwender entscheiden, welche Strategie er im Rahmen der klinischen Sichtung verfolgt.

Hierbei ist v.a. der Zeitaufwand eines komplexeren Algorithmus am Sichtungsplatz gegen die möglicherweise schlechtere diagnostische Güte eines einfacheren und schnelleren Algorithmus abzuwägen. Bei weniger ausgeprägtem Ressourcenmangel wirkt sich die Übertriagierung eines Sichtungsalgorithmus weniger auf die Konkurrenz der wahren SK-I-Patienten (richtig Positive) um die medizinischen Ressourcen mit den falsch zugeordneten SK-I-Patienten (falsch Positive) aus. Aus Sicht der Algorithmenausbildung, der permanenten Wissensverfügbarkeit und Anwendungssicherheit ist allerdings davon abzuraten, lage-/ressourcenentsprechend unterschiedliche Algorithmen vorhalten zu wollen [8].

Ein weiterer Diskussionspunkt ist der Einsatz einer fokussierten Ultraschalluntersuchung (FAST) [41] in Algorithmen bzw. der Eingangssichtung. Grundsätzlich erscheint es sinnvoll, innerklinisch vorhandene Ressourcen, die zur besseren Diskriminierung des Patientenzustands beitragen können, in den Sichtungsprozess einzubeziehen, die prähospital nicht realistisch verfügbar und einsetzbar sind. So kann Personal, dass in FAST geschult und erfahren ist, grundsätzlich wertvolle Informationen liefern, die die nächsten Behandlungsschritte beeinflussen. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass eine Konzentration des FAST auf diejenigen Patienten, die einem sensitiven Vorselektionsverfahren wie der Sichtung anhand klinischer Parameter unterzogen worden sind, die Spezialistenressource zielgenauer einsetzt. Werden szenarioabhängige Kategorieverteilungen von SK I (20 %), SK II (30 %) und SK III (50 %) zugrunde gelegt [2, 9, 18, 42], dann sind mehr als 50 % der FAST-Untersuchungen verzichtbar, zugunsten der Möglichkeit, sich ausführlicher mit den Patienten der SK I im Behandlungsbereich rot zu befassen [3, 41]. Im Ausbildungskonzept des Berliner Sichtungsalgorithmus ist dies so berücksichtigt. Nur Patienten mit stumpfen Bauchtrauma ohne akut vitale Bedrohung erhalten am Sichtungspunkt eine FAST, um hier Patienten mit freier intraabdomineller Flüssigkeit (SK I) von Patienten ohne (SK II) unterscheiden zu können. Solches Personal ist in Notaufnahmen regelhaft vorhanden. In der Prälklinik sind

die Schulung und der Einsatz des FAST hingegen noch weniger etabliert [43].

Das BBK hat die Entwicklung des zugrunde liegenden Patientendatensatzes mitfinanziert, der zukünftig für nationale und internationale Ausbildungen und Übungen in der Krankenhausalarm- und -einsatzplanung genutzt werden kann. Das Evaluationsergebnis der im internationalen Zivilschutzprojekt des BBK mit dem Haschemitischen Königreich Jordanien entwickelten Sichtungsalgorithmen, ist eine Bestätigung für die gelungene internationale Projektzusammenarbeit und erhöht die Akzeptanz der Algorithmen bei Entscheidungsträgern in beiden Partnerländern.

Limitierend ist in der vorliegenden Analyse festzustellen, dass die weiterentwickelten Patientenvignetten aus den Berliner Krankenhauseinsatzübungen [25] anders als in unserer prähospitalen Vorstudie aus realen Patientenfällen [6] alle fiktive Fallbeispiele darstellen. Außerdem ist ein limitierender Faktor unserer Studie das Design der Datenbank selbst. Da die Abfragen der Vor-/Sichtungsalgorithmen z.T. sehr konkret und speziell sind, existierte nicht zu jedem Algorithmus-Item 1 zu 1 eine Spalte mit der jeweiligen Information des Patientenbeispiels und musste komplex nachberechnet werden. In einer nachfolgenden Studie sollte daher stärker darauf geachtet werden, dass alle Abfragen der zu untersuchenden Algorithmen direkt in der Patientendatenbank widergespiegelt sind.

Schlussfolgerung

In der vorliegenden Studie konnte eine Übertragbarkeit prähospitaler algorithmenbasierter Vorsichtungsergebnisse auf die Ergebnisse der klinischen Algorithmen gezeigt werden. Die höchste diagnostische Güte für die innerklinische Sichtung lieferte der Berliner Sichtungsalgorithmus, gefolgt vom innerklinischen Jordanisch-Deutschen Projekタルalgorithmus (JorD), die allerdings auch die meisten Algorithmusschritte bis zum Entscheid benötigen. Für die Erkennung der Sichtungskategorien SK II und SK III besteht ein Zusammenhang zwischen der Anzahl von Algorithmusschritten und der erreichten Testgüte.

In einer nachfolgenden Studie müssen die Ergebnisse an realen Patientendatensätzen z.B. aus Notaufnahmen validiert werden. Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich weiterhin für eine mögliche Verbesserung der Algorithmen selbst.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Axel R. Heller, MBA

Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Medizinische Fakultät, Universität Augsburg
Stenglinstr. 2, 86156 Augsburg, Deutschland
Axel.Heller@uni-a.de

Danksagung. Besonderer Dank gilt der organisationsübergreifenden Arbeitsgruppe mit PD Dr. I. Gräßf, Dr. F. Kolibay, Dr. F. Senzen, Prof. Dr. T. Wurmb aus der 8. Sichtungskonsensuskonferenz, die gemeinsam mit den Autoren die Vorabbewertung des Vignettensatzes durchgeführt hat. Reisekostenersatz durch das BBK wurde gewährt als Moderator (Autor A. Heller) bzw. als Teilnehmer (Autoren A. Solarek und C. Kleber) der Sichtungskonsensuskonferenzen. Reisekostenersatz wurde A. Heller als Mitglied der DIVI Sektion Notfall- und Katastrophenmedizin u.a. als Delegierter bei der Erstellung der AWMF-Leitlinien prä- und innerklinische Katastrophenmedizin gewährt (AWMF-Registernummern- 001-043 und 187-048).

Förderung. Die Erstellung der Patientenvignetten durch Frau Dr. K. Juncken sowie die Datenauswertung durch Herrn Dr. T. Neidel wurden vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe gefördert. Alle 36 Sichtenden der Untersuchung haben eine Aufwandsentschädigung für ihre Beteiligung durch das BBK erhalten.

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. A.R. Heller gibt für das Manuskript Projektförderung durch das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) an. T. Neidel gibt an, Honorare des Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) für die Analyse der diagnostischen Qualität von Triage-Algorithmen erhalten zu haben. K. Juncken gibt an, Honorare des Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) für den Aufbau der Fallvignettendatenbank erhalten zu haben. P.J. Klotz, A. Solarek, B. Kowalzik und C. Kleber geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht. Zusätzlicher Hinweis: Die 36 Gutachterinnen und Gutachter für den vorherigen Konsens der Fallvignettendatenbank erhielten vom BBK ein Honorar für die Bewertung von jeweils 210 Vignetten.

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.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz befügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Adams H, Paal P (2015) Patientenversorgung im Großschadens- und Katastrophenfall. *Med Klin Intensivmed* 110(1):6–8
2. Brüne F (2013) Reale Verteilung von Sichtungskategorien bei MANV Einsätzen – Auswirkungen auf die Schutzziele. Mathematisch – Naturwissenschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn (Masterstudiengang Katastrophenversorgung-Katastrophenmanagement)
3. Heller AR, Juncken K (2020) Primärversorgung in der Zentralen Notaufnahme. *Anasth Intensivmed* 61:164–176
4. Heller AR (2006) Katastrophenmedizin: Wunsch und Wirklichkeit. *Dtsch Arztebl Int* 103(48):3250
5. Heller AR, Juncken K (2020) Einsatzführung durch den LNA. In: Knickmann AO, Piepho T (Hrsg) Handbuch für den Organisatorischen Leiter und Leitenden Notarzt. Stumpf & Ksendey, Edewecht, S317–322
6. Heller AR, Salvador N, Frank M, Schiffner J, Kipke R, Kleber C (2019) Diagnostic precision of triage algorithms for mass casualty incidents. English version. *Anaesthesia* 68(Suppl 1):15–24
7. AWMF (2019) Anmeldung: S2k-Leitlinie Katastrophenmedizinische präklinische Behandlungsleitlinien. Registernummer 001-043
8. BBK Protokoll 8. Sichtungs-Konsensus-Konferenz2019. https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Gesundheit/Sichtung/protokoll-8sikokon-download.pdf?__blob=publicationFile&v=4. Zugegriffen: 12.5.2023
9. Heller AR, Brüne F, Kowalzik B, Wurmb T (2018) Großschadenslagen: Neue Konzepte zur Sichtung. *Dtsch Arztebl Int* 115(31–32):1432
10. Rönnau T, Wegner K (2020) Grundwissen – Strafrecht: Triage. *Jus 5*:403–406
11. Heller AR, Bartenschlager CC, Brunner JO, Marckmann G (2023) Das „Triagegesetz“ – Regelung mit fatalen Folgen. *Anaesthesiologie* 72. <https://doi.org/10.1007/s00101-023-01286-0>
12. Streckbein S, Kohlmann T, Luxen J, Birkholz T, Pruckner S (2016) Triage protocols for mass casualty incidents : An overview 30 years after START. *Unfallchirurg* 119(8):620–631
13. Bazyar J, Farrokhi M, Khankeh H (2019) Triage systems in mass casualty incidents and disasters: a review study with a worldwide approach. *Open Access Maced J Med Sci* 7(3):482–494
14. Neidel T, Salvador N, Heller AR (2017) Impact of systolic blood pressure limits on the diagnostic value of triage algorithms. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 25(1):118
15. Neidel TH, Heller AR (2021) Einfluss der Reihenfolge von Items auf die diagnostische Qualität von Vorsichtungsalgorithmen hinsichtlich der Vergabe der Sichtungskategorie I. *Notfall Rettungsmed* 1025:1025–1032
16. Paul AO, Kay MV, Huppertz T, Mair F, Dierking Y, Hornburger P et al (2009) Validierung der Vorsichtung nach dem mStaRT-Algorithmus: Pilotstudie zur Entwicklung einer multizentrischen Evaluation. *Unfallchirurg* 112(1):23–30
17. Dittmar MS, Bigalke M, Brunner A, Hannewald W, Honig D, Honig M et al (2013) Ein regional angepasstes Vorgehen zur Vorsichtung und Sichtungskennzeichnung beim Massenanfall von Verletzten. *Notarzt* 29(06):253–259
18. BBK Protokoll 7. Sichtungs-Konsensus-Konferenz2017. https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Gesundheit/Sichtung/protokoll-7sikokon-download.pdf?__blob=publicationFile&v=7. Zugegriffen: 12.05.2023
19. Pfenniger E, Königsdorfer M (2019) Exit wave plan for structured secondary patient distribution : Logistic concept for mass victims of terrorist attacks. *Anaesthesia* 68(10):702–710
20. Hossfeld B, Adams H, Bohnen R et al (2017) e. Zusammenarbeit von Rettungskräften und Sicherheitsbehörden bei bedrohlichen Lagen – Ergebnisse eines nationalen Konsensusgesprächs. *Anasth Intensivmed* 58:573–583
21. Seefrin P (2014) Vorsichtung notwendig – Bericht von der Nachfolge Sichtungskonferenz 2013. *Notarzt* 30:85
22. Kogej M, Kern M, Tralls P, Berger M, Gräßl (2021) Das Präsentationsdiagramm „Massenanfall“ des Manchester-Triage-Systems. *Notfall Rettungsmed*. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00937-2>
23. Grossmann F, Delpot K, Keller D (2009) Emergency severity index. *Notfall Rettungsmed* 12(4):290–292
24. Kleber C, Solarek A, Cwojdzinski D (2020) Der Berliner Krankenhaus-Sichtungs-Algorithmus für den Massenanfall von Verletzten. *Unfallchirurg* 123(3):187–198
25. Kleber C, Cwojdzinski D, Strehl M, Poloczek S, Haas NP (2013) Results of in-hospital triage in 17 mass casualty trainings: underestimation of life-threatening injuries and need for re-triage. *Am J Disaster Med* 8(1):5–11
26. Bubser F, Callies A, Schreiber J, Grüneisen U (2014) PRIOR: Vorsichtungssystem für Rettungsassistenten und Notfallsanitäter. *Rettungsdienst* 37(8):730–734
27. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2018) Entwicklung eines innerklinischen Sichtungs-Algorithmus im Rahmen eines internationalen Zivilschutzprojektes des BBK mit dem Haschemitischen Königreich Jordanien. https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Internationale-Angelegenheiten/Internationale-Projektarbeit/Jordanien/jordanien_node.html. Zugegriffen: 12.05.2023
28. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2018) Prehospital Emergency Triage

Abstract

- Rapid Algorithm (PETRA) – Entwicklung eines präklinischen Sichtungsalgorithmus – Internationales Zivilschutzprojekt des BBK mit dem Haschemitischen Königreich Jordanien. https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Internationale-Angelegenheiten/Internationale-Projektarbeit/Jordanien/jordanien_node.html. Zugriffen: 12.05.2023
29. Leiner DJ (2019) SoSci survey Onlinebefragungsinstrument (version 3.1.06)
30. Christ M, Grossmann F, Winter D, Bingisser R, Platz E (2010) Modern triage in the emergency department. *Dtsch Arztbl Int* 107(50):892
31. Hiereth K, Hornburger P, Eyer F, Gerstenhöfer S, Schmöller G, Prückner Setal (2013) mStaRT Trauma & Intox. Notfall Rettungsmed 16(8):627–636
32. Youden WJ (1950) Index for rating diagnostic tests. *Cancer* 3(1):32–35
33. AWMF (2021) Anmeldung: S2k-Leitlinie Behandlungsleitlinien und Behandlungsstrategien für den Einsatz in klinischen Krisen- und Katastrophenmedizin. Registernummer 187-048
34. Eastridge BJ, Butler F, Wade CE, Holcomb JB, Salinas J, Champion HR et al (2010) Field triage score (FTS) in battlefield casualties: validation of a novel triage technique in a combat environment. *Am J Surg* 200(6):724–727
35. Wolf P, Bigalke M, Graf BM, Birkholz T, Dittmar MS (2014) Evaluation of a novel algorithm for primary mass casualty triage by paramedics in a physician manned EMS system: a dummy based trial. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 22(1):1–10
36. Akaike H (1998) Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: Selected papers of Hirotugu Akaike. Springer, S 199–213
37. Zahn T (2015) PRIOR Evaluierung – Design und Ergebnisse. In: Schreiber J (Hrsg) Symposium 21112015: Medizinisches Management im MANV unter Verwendung der PRIOR-Vorsichtungssystems. Deutsche Gesellschaft für Katastrophemedizin (DGKM), Leipzig
38. BBK Protokoll 6. Sichtungs-Konsensus-Konferenz 2015. https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Gesundheit/Sichtung/protokoll-6sikokon-download.pdf?__blob=publicationFile&v=8. Zugriffen: 12.05.2023
39. Offterdinger M, Ladehof K, Paul AO, Hansen M (2014) Eine einfache Checkliste als Hilfsmittel zur Vorsichtung mit dem mStaRT-Algorithmus – Erste Erfahrungen aus der Simulation. *Notfall Rettungsmed* 17:415–419
40. Hügle C, Neidel T, Helmert J, Heller A (2018) Evaluationsstudie zur Nutzung von Checklisten vs. Flussdiagrammen bei der Vorsichtung, Projekt-Abschlussbericht. Dresden; 2018
41. Williams SR, Perera P, Gharahbaghian L (2014) The FAST and E-FAST in 2013: trauma ultrasonography: overview, practical techniques, controversies, and new frontiers. *Crit Care Clin* 30(1):119–150
42. Juncken K, Heller AR, Cwojdzinski D, Disch AC, Kleber C (2019) Distribution of triage categories in terrorist attacks with mass casualties: Analysis and evaluation of European results from 1985 to 2017. *Unfallchirurg* 122(4):299–308
43. Scharnow M, Weilbach C (2018) Prehospital point-of-care emergency ultrasound: a cohort study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 26(1):1–9

Validation of secondary triage algorithms for mass casualty incidents—A simulation-based study—German version

Background: In the event of a mass casualty incident (MCI), the situation-related shortage of medical resources does not end when the patients are transported from the scene of the incident. Consequently, an initial triage is required in the receiving hospitals. In the first step, the aim of this study was to create a reference patient vignette set with defined triage categories. This allowed a computer-aided evaluation of the diagnostic quality of triage algorithms for MCI situations in the second step.

Methods: A total of 250 case vignettes validated in practice were entered into a multistage evaluation process by initially 6 and later 36 triage experts. This algorithm—Independent expert evaluation of all vignettes—served as the gold standard for analyzing the diagnostic quality of the following triage algorithms: Manchester triage system (MTS module MCI), emergency severity index (ESI), Berlin triage algorithm (BER), the prehospital algorithms PRIOR and mStaRT, and two project algorithms from a cooperation between the Federal Office of Civil Protection and Disaster Assistance (BBK) and the Hashemite Kingdom of Jordan—Intrahospital Jordanian-German project algorithm (JorD) and prehospital triage algorithm (PETRA). Each patient vignette underwent computerized triage through all specified algorithms to obtain comparative test quality outcomes.

Results: Of the original 250 vignettes, a triage reference database of 210 patient vignettes was validated independently of the algorithms. These formed the gold standard for comparison of the triage algorithms analyzed. Sensitivities for intrahospital detection of patients in triage category T1 ranged from 1.0 (BER, JorD, PRIOR) to 0.57 (MCI module MTS). Specificities ranged from 0.99 (MTS and PETRA) to 0.67 (PRIOR). Considering Youden's index, BER (0.89) and JorD (0.88) had the best overall performance for detecting patients in triage category T1. Overtriage was most likely with PRIOR, and undertriage with the MCI module of MTS. Up to a decision for category T1, the algorithms require the following numbers of steps given as the median and interquartile range (IQR): ESI 1 (1–2), JorD 1 (1–4), PRIOR 3 (2–4), BER 3 (2–6), mStaRT 3 (3–5), MTS 4 (4–5) and PETRA 6 (6–8). For the T2 and T3 categories the number of steps until a decision and the test quality of the algorithms are positively interrelated.

Conclusion: In the present study, transferability of preclinical algorithm-based primary triage results to clinical algorithm-based secondary triage results was demonstrated. The highest diagnostic quality for secondary triage was provided by the Berlin triage algorithm, followed by the Jordanian-German project algorithm for hospitals, which, however, also require the most algorithm steps until a decision.

Keywords

Disaster management · Emergency preparedness · Secondary triage · Hospital alarm and operation plan · Emergency department