

## Update Reanimation – Reanimation 4.0

Stephan Seewald, Barbara Jakisch



Quelle: KH Krauskopf.

Die Zukunft der Notfallmedizin wird wesentlich durch technische Innovationen bestimmt werden: Neben einer virtuellen Lernumgebung im Rahmen der Ausbildung wird vor allem die Erkennung des Herz-Kreislauf-Stillstandes in Zukunft zunehmend digitalisiert werden. Der größte Meilenstein aber wird die individualisierte Reanimation sein – möglicherweise bestimmt schon bald der Computer stärker den Ablauf der Reanimation als standardisierte Algorithmen.

### Einleitung

Der technische Fortschritt hat die industrielle Produktion in den letzten Jahrzehnten grundlegend verändert. Der Begriff „Industrie 1.0“ bezeichnete die Revolution durch die Nutzung von Wasser- und Dampfkraft. „Industrie 2.0“ charakterisiert die Massenproduktion von Waren durch die Einführung von Fließbändern und die Nutzung der elektrischen Energie. Mit der „3. industriellen Revolution“ wird schließlich die Nutzung technischer Infrastruktur zur Digitalisierung von Prozessen umschrieben. Diese Be-

griffsdefinitionen wurden immer im Nachhinein geprägt. Bei der „Industrie 4.0“ handelt es sich dagegen um ein von Politik und Wirtschaft gefördertes Projekt, bei dem Mensch, Maschinen und industrielle Prozesse intelligent vernetzt werden sollen. In der Industrie 4.0 sollen Bauteile eigenständig mit der Produktionsanlage kommunizieren. So sollen sie bei Bedarf selbst eine Reparatur veranlassen oder Material nachbestellen. Ebenso sollen Produkte individuell für den Kunden angefertigt werden können (z.B. Schuhe mit besonderer Sohle) – dies aber zu Preisen und Bedingungen der Massenproduktion.

Hierbei spielt künstliche Intelligenz (KI) eine Schlüsselrolle.

Auf die Notfallmedizin und insbesondere die Reanimatologie lassen sich diese technischen und industriellen Revolutionen nur eingeschränkt übertragen. Nichtsdestotrotz wird KI auch die Aus-, Fort- und Weiterbildung, die praktische Anwendung und das Qualitätsmanagement von Notfallmedizin verändern. Hinsichtlich der Reanimation sollen im Folgenden einige Bereiche beleuchtet werden, in denen technische Innovationen und KI aktuell und zukünftig die Reanimation tiefgreifend verändern werden. Hierbei handelt es sich um eine subjektive Darstellung und einen visionären Blick in die Zukunft. Bereits etablierte technische Möglichkeiten (wie z.B. die Tele-Notfallmedizin) sollen nicht besprochen werden.

#### Merke

**Reanimation 4.0 bezeichnet die intelligent vernetzte Notfallmedizin der Zukunft.**

## Erkennung des Herz-Kreislauf-Stillstandes

Das Smartphone gehört in Deutschland für viele Menschen zum ständigen Begleiter und wird 2018 von 57 Millionen Deutschen genutzt. Dieser Siegeszug wird weiter voranschreiten, wenn man bedenkt, dass der Anteil der Nutzer in der Altersgruppe von 14 bis 49 Jahren bei über 95% liegt. Diese Personen werden auch im Alter nicht auf ihren digitalen Begleiter verzichten wollen. Nicht nur das Smartphone, auch die am Handgelenk getragenen „Wearables“ werden in Zukunft eine größere medizinische Rolle zugewiesen bekommen: So können diese schon heute relativ sicher die Herzfrequenz überwachen und z. B. Hinweise auf ein Vorhofflimmern geben.

### Schnappatmung

Doch nicht nur für das EKG, auch für die Erkennung einer Schnappatmung können Smartphones hilfreich sein. Schnappatmung kennzeichnet die ersten Sekunden bis Minuten eines Herz-Kreislauf-Stillstandes und sollte unmittelbar zum Start von Reanimationsmaßnahmen führen. Dies wird auch in den aktuellen Leitlinien zur Reanimation des European Resuscitation Councils (ERC) besonders betont. Allerdings wird die Schnappatmung bzw. die nicht normale Atmung oft nicht erkannt oder falsch interpretiert, sodass lebenswichtige Reanimationsmaßnahmen unterbleiben. Dies ist umso bedeutender, da nach Daten des Deutschen Reanimationsregisters 52% der prähospitalen Herz-Kreislauf-Stillstände beobachtet werden und sich am häufigsten im häuslichen Umfeld (62%) ereignen [1].

Der Arbeitsgruppe um Justin Chan aus den Vereinigten Staaten ist es gelungen, mithilfe eines Smartphones sowie eines mathematischen Verfahrens (support vector machine) die Schnappatmung sicher zu erkennen. Dafür trainierten sie das System mit Schnappatmungsaufzeichnungen aus Notrufen und Daten aus dem Schlaflabor. Es gelang mit einer Sensitivität von 97% und einer Spezifität von knapp 100% eine richtige Zuordnung der Schnappatmung [2]. Dieses System könnte in vielen Bereichen (z. B. häusliches Umfeld, im Auto...) eine Schnappatmung erkennen und den Rettungsdienst alarmieren. Außerdem ist auch ein Einsatz zur Prüfung der Atmung eines Bewusstlosen durch einen zufällig anwesenden Ersthelfer mittels App oder sogar über die Leitstelle denkbar. Dadurch können anwesende Helfer zum Start von Maßnahmen animiert werden. Darüber hinaus erhalten so die Leitstellendisponenten Handlungssicherheit bei der telefonischen Anleitung zur Reanimation.

#### Merke

**Bei sicherer Erkennung von Schnappatmung sinkt das Risiko von Anleitungen zur Reanimation bei nicht reanimationspflichtigen Patienten.**

### Höhere Erkennungsrate

Nicht nur für die Erkennung von Schnappatmung ist der Einsatz von intelligenter Technologie sinnvoll – auch bei der grundsätzlichen Erkennung von Herz-Kreislauf-Stillständen in Notrufen kann Technik den Leitstellendisponenten unterstützen. Aktuell erkennen die Disponenten bei ca. 25% der Herz-Kreislauf-Stillstände das Ereignis im Rahmen der Notrufabfrage nicht. Diese Fehleinschätzungen sind durch viele Faktoren, wie etwa die Vielzahl von zu verarbeitenden Informationen, die Umgebungsgeräusche oder die Unruhe des Anrufers bedingt. Durch die fehlende Erkennung des Herz-Kreislauf-Stillstandes können etablierte und für die Prognose des Patienten wichtige Maßnahmen nicht erfolgen, etwa die telefonische Anleitung des Anrufers zur Reanimation und die Alarmierung von First Respondern. Dadurch verzögert sich der Beginn von qualifizierten Reanimationsmaßnahmen unnötig.

Eine Arbeitsgruppe aus Dänemark konnte zeigen, dass künstliche Intelligenz besser als Leitstellendisponenten Herz-Kreislauf-Stillstände aus aufgezeichneten Notrufen erkennen kann. Damit könnte sie möglicherweise in Zukunft eine wichtige Rolle bei der Entscheidungsfindung auf der Leitstelle spielen [3]. Künstliche Intelligenz (KI) bezeichnet allgemein ein Gebiet der Informatik, das sich mit der Automatisierung intelligenten Verhaltens und mit maschinellem Lernen beschäftigt. Ziel ist, dass Computer Menschen Entscheidungen abnehmen und eigenständig Probleme lösen können.

### Merke

**KI wird zukünftig die Erkennung eines Herz-Kreislauf-Stillstandes sicherer machen und so Anwendungshäufigkeit und Akzeptanz der telefonischen Anleitung zur Reanimation durch die Leitstelle, Ersthelfer-Alarmierungs-Konzepte etc. verbessern.**

## Individualisierte Reanimation

Die Geschichte der kardiopulmonalen Reanimation (CPR) geht weit zurück. Schon im Alten Testament wurden erste Reanimationsmaßnahmen beschrieben, die heute merkwürdig anmuten. So wurde im Alten Testament im 2. Buch der Könige, Kapitel 4, Verse 32–35 beschrieben: Der Prophet Elischa legte sein Angesicht und seine Hände auf Gesicht und Hände eines toten Kindes und ging dann einmal im Zimmer umher. Danach legte er erneut seine Hände und sein Gesicht auf die des Kindes. Schließlich öffnete das Kind seine Augen, nieste 7-mal und war wieder lebendig.

### Heutige Basisreanimation

Die Basis für die heute übliche CPR lieferten Kouwenhoven und Kollegen in den 1960er-Jahren durch die Entwicklung der Herzdruckmassage am geschlossenen Thorax [4]. Die Kollegen beschrieben den bis heute gültigen Leitspruch: „All that is needed are two hands.“ Basierend auf den wissenschaftlichen Erkenntnissen wurde diese Technik in den vergangenen Jahrzehnten durch die im Rahmen des International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) abgestimmten Leitlinien weiterentwickelt. Ziel war dabei immer – neben der Berücksichtigung aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse –, die Vereinfachung und Vereinheitlichung von Reanimationsmaßnahmen voranzutreiben.

Durch möglichst einfache und gut strukturierte Abläufe sollen die Leitlinienadhärenz und die Umsetzung in die Praxis verbessert werden. So wird beispielsweise in den ERC-Leitlinien von 2015 für die Basisreanimation empfohlen, bei Erwachsenen und bei Kindern dasselbe Verhältnis von Thoraxkompressionen zu Beatmungen zu verwenden [5]. Darüber hinaus wird für alle erwachsenen Patienten ein einheitlicher Druckpunkt für die Thoraxkompressionen vorgegeben. Alle Empfehlungen sind in standardisierten Algorithmen zusammengefasst. Doch ist dieses Vorgehen wirklich noch zeitgemäß? Benötigt tatsächlich jeder erwachsene Patient unabhängig von Körpergewicht und Vorerkrankungen die gleiche Menge Adrenalin? Ist der Druckpunkt immer gleich und immer richtig, obwohl sich der menschliche Körper bisweilen stark unterscheidet (s. „Fallbeispiel – Zwei Reanimationen“)?

### FALLBEISPIEL

#### Zwei Reanimationen

Ein 58-jähriger Mann erleidet im Rahmen einer Bronchoskopie eine Hypoxie und entwickelt einen beobachteten Herz-Kreislauf-Sstillstand mit PEA (pulslose elektrische Aktivität). Nach 2 Minuten Beatmung und Herzdruckmassage entsteht ein Kammerflimmern. Dieses wird erfolgreich defibrilliert und der Patient hat einen ROSC (Return of spontaneous Circulation).

Eine 62-jährige Patientin erleidet nachts einen unbeobachteten Herz-Kreislauf-Stillstand. Eine Laien-Reanimation durch den Ehemann, der sie morgens findet, erfolgt nicht. Bei Ankunft des Rettungsdienstes liegt eine Asystolie vor. Nach 20 Minuten persistierender Asystolie werden die Reanimationsmaßnahmen eingestellt.

Benötigen beide Patienten wirklich dieselbe Therapie?

### Druckpunkt für die Thoraxkompressionen

Der Druckpunkt für die Thoraxkompressionen wurde in den letzten Jahren aus didaktischen Gründen zunehmend vereinfacht. Er wird heute mit der unteren Sternumhälfte und der Mitte des Brustkorbes angegeben [5]. Nach pathophysiologischen Konzepten soll dabei durch direkte Kompression des Herzens (cardiac pump theory) und/oder durch die ausgelösten Druckveränderungen im Thorax (thoracic pump theory) ein Blutfluss entstehen. Nach diesen Überlegungen sollte das Punctum maximum der Thoraxkompression auf dem linken Ventrikel liegen. Doch lässt sich dies wirklich durch die vagen Angaben zur Lokalisation des Druckpunktes in den Leitlinien sicherstellen?

### CT- und MRT-Untersuchungen

Die Kollegen um S. O. Hwang untersuchten in Korea Patienten nach erfolgreicher Reanimation nach außerklinischem Herz-Kreislauf-Stillstand am 1. Tag nach dem Ereignis mittels Thorax-CT [6]. Hier zeigte sich: Ein kaudaler gelegener Kompressionspunkt, am sternoxiphoidalen Übergang, würde eine deutlich größere Fläche des linken Ventrikels komprimieren und sollte damit bessere Ergebnisse für den Patienten erbringen. Darüber hinaus zeigte sich am Standard-Druckpunkt eine mögliche Kompression des linksventrikulären Ausflusstraktes (LVOT) und des proximalen Anteils der deszendierenden Aorta [6].

Eine neuere Untersuchung aus der Arbeitsgruppe um Nastaas aus dem Jahr 2016 konnte mithilfe von MRT-Untersuchungen ähnliche Ergebnisse erbringen [7]. Bei knapp der Hälfte der Patienten mit kardialen Vorerkrankungen zeigten sich der LVOT und die Aortenwurzel unter dem von den Leitlinien empfohlenen Druckpunkt. Der optimale Druckpunkt befand sich demnach 3 cm links vom empfohlenen Punkt. Die Autoren schlussfolgerten,

dass es einer Individualisierung des Druckpunktes und der Kompressionstiefe bedarf, um der interindividuellen anatomischen Variabilität Rechnung zu tragen [7]. Doch lassen sich diese statischen Untersuchungen tatsächlich auf den dynamischen Prozess einer Reanimation übertragen? Welche Veränderungen ergeben sich durch Verletzungen im Rahmen der Reanimation?

### Transösophageale Echokardiografie

Eine dynamische Bewertung der Maßnahmen ermöglicht die Echokardiografie. Die transthorakale Echokardiografie (TTE) ist mittlerweile etabliertes Instrument zum Ausschluss reversibler Ursachen während der kardiopulmonalen Reanimation innerklinisch und zunehmend auch prähospital. Nun tritt auch die transösophageale Echokardiografie (TEE) in den Mittelpunkt der wissenschaftlichen Analysen.

Verschiedene Studien konnten zeigen, dass mithilfe der TEE eine Beurteilung auch während der laufenden Reanimation möglich ist [8]. Dadurch liefert die TEE eine Art „Echtzeit-Feedback“. Eine Studie aus Korea in der Notaufnahme belegte: Der Ausfluss aus dem linken Ventrikel kann durch Thoraxkompressionen an dem aktuell empfohlenen Standard-Druckpunkt durch Kompression des LVOT und der Aortenwurzel kompromittiert sein [9]. Eine weitere Beobachtungsstudie aus der Notaufnahme von 2019 zeigte an 33 Patienten, dass die TEE für 32 Patienten eine diagnostische, therapeutische oder prognostische Konsequenz hatte [10]. Bei etwa der Hälfte der unter Reanimation aufgenommenen Patienten konnte durch die TEE der Druckpunkt korrigiert werden – oft lag er fälschlich über dem LVOT oder der Aortenwurzel. Bei 4 Patienten konnte ein feines Kammerflimmern in der TEE detektiert werden, das im EKG nicht sichtbar war und konsekutiv mit Defibrillation behandelt werden konnte [10].

#### Merke

**Der in den Leitlinien zur Reanimation beschriebene Druckpunkt scheint nicht für alle Patienten optimal zu sein. Mithilfe der TEE lässt sich der optimale Druckpunkt individuell ermitteln und laufend während der Reanimation anpassen.**

### Unterbrechungen verkürzen

Ziel der Leitlinienrevisionen war es wiederholt, die Unterbrechungen der Reanimation zu reduzieren. Aus diesem Grund wurde beispielsweise das Verhältnis von Thoraxkompressionen und Beatmungen von Erwachsenen von 15:2 auf 30:2 angepasst. Darüber hinaus sollte auch die Pause der Thoraxkompressionen bei der Rhythmusanalyse und Defibrillation so kurz wie möglich sein. Daher wurde die 3-Schock-Strategie, also die Abgabe von 3 Schocks hintereinander ohne Unterbrechung durch Thoraxkompressionen, weitgehend verlassen.

### AMSA-Analyse

Um die Zeit der Rhythmusanalyse weiter zu verkürzen, könnte möglicherweise zukünftig die Analyse der EKG-Amplitude bei Kammerflimmern (amplitude spectral area = AMSA) während der Beatmungspausen sinnvoll sein. Salvatore Aiello konnte in einer Studie an 12 Schweinen zeigen: Die Nutzung eines AMSA-basierten Defibrillationsprotokolls kann zu einer Reduktion der Schockanzahl, der Unterbrechungen der Reanimation, des myokardialen Schadens und zu einer Verbesserung des Ergebnisses führen [11]. Damit könnte die Grundlage für eine weitere Komponente der patientenadaptierten Reanimation gelegt sein (s. „Fallbeispiel – Zukünftig denkbarer Fall“).

#### FALLBEISPIEL

##### Zukünftig denkbarer Fall

Ein 60-jähriger Patient wird unter laufender Reanimation vom Rettungsdienst in den Schockraum gebracht. Er sei beobachtet auf der Straße kollabiert und sofort seien Laien-Reanimationsmaßnahmen durchgeführt worden. Bei Ankunft im Schockraum erfolgt eine mechanische Reanimation. Sofort wird eine TEE-Untersuchung beim bereits durch den Notarzt intubierten Patienten eingeleitet. Hier zeigt sich eine Kompression des LVOT. Der Druckpunkt wird unter TEE-Kontrolle einige Zentimeter nach links verlagert. In der inzwischen etablierten arteriellen Kanüle kann nun ein mittlerer arterieller Druck von 65 mmHg erreicht werden. Nach wenigen Minuten meldet der Defibrillator, dass nun ein Schock aufgrund der AMSA-Analyse erfolgreich möglich wäre und defibriert nach Sicherheitsbestätigung selbstständig. Der Patient erreicht einen ROSC.

### Parameter zur Qualitätsbeurteilung

Neben dem Monitoring der Effektivität von Thoraxkompressionen mithilfe der TEE besteht zusätzlich die Möglichkeit, Messwerte des Patienten zur Qualitätsbeurteilung der Reanimation heranzuziehen, wie etwa

- die invasive Blutdruckmessung,
- die Pulsoxymetrie,
- die endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Messung und
- die zerebrale Oxymetrie.

Verschiedene Studien konnten hier eine Verbindung einzelner oder mehrerer der genannten Parameter mit der Qualität der Thoraxkompressionen zeigen. Beispielsweise ermöglicht die Messung des endexpiratorischen CO<sub>2</sub> (etCO<sub>2</sub>) mittels Kapnografie eine nicht invasive Abschätzung des Herzzeitvolumens und der Organperfusion, insbesondere bei Beurteilung im Verlauf. Daher eignet sich das etCO<sub>2</sub> hervorragend, um die Qualität der Thoraxkompressionen zu beurteilen. Weiterhin gibt es gute Belege, die darauf hinweisen, dass die Kapnografie und die zerebrale Oxymetrie eine Vorhersage von ROSC ermöglichen [12].

**INFO****Smartwatch**

Eine weitere Option zur Feststellung von ROSC bietet möglicherweise die Smartwatch. So konnte eine südkoreanische Arbeitsgruppe um Yoonje Lee zeigen: Der in Smartwatches integrierte Fotoplethysmografie-Sensor ergab bessere Sensitivitäten und Spezifitäten für die Erkennung von ROSC als das manuelle Tasten des Pulses [13].

**Echtzeit-Feedback mittels Vitaldaten**

Aktuell werden vor allem akzelerometrische Feedback-Sensoren von den Defibrillatorherstellern eingesetzt. Diese Sensoren sind in der Lage, Frequenz und Drucktiefe der Thoraxkompressionen zu messen, treffen aber keine Aussage zur Lokalisation des Druckpunktes. Die Aussagekraft dieses Verfahrens ist insbesondere im Hinblick auf die o.g. Zweifel über die Position des Druckpunktes eingeschränkt. Eine automatische Berücksichtigung von gemessenen Werten der Vitaldaten ist zurzeit nicht verfügbar und dem Anwender überlassen. In Zukunft werden die klassischen akzelerometrischen Feedback-Sensoren daher möglicherweise ausgedient haben.

**Merke**

**Der Monitor wird durch Vitaldaten dem Anwender ein Feedback geben, das nicht nur auf der mechanischen Aktion der Thoraxkompressionen alleine beruht. Vielmehr werden die Auswirkungen und Effekte auf den Patienten bewertet.**

Vielleicht könnte hier z. B. auch künstliche Intelligenz helfen, dem Anwender Vorschläge zur Optimierung zu machen. So könnte dieser entsprechend den o.g. Daten zu einer Druckpunkt- oder Frequenzvariation oder einer Rhythmuskontrolle bei Hinweisen auf ROSC aufgefordert werden. Damit wäre ein weiterer Schritt zur individualisierten Reanimation getan.

Diese Zusammenhänge sind auch bereits in Algorithmen für das Training an Simulatoren implementiert: Der Anwender erhält ein Echtzeit-Feedback von Blutdruck und expiratorisch gemessenem CO<sub>2</sub> in Abhängigkeit von seinen Maßnahmen [14].

**Vernetzung durch Thoraxkompressionssysteme**

Ziel muss zukünftig sein, die vorgestellten Möglichkeiten zur individuellen Reanimation zu vernetzen. Gerade die zunehmende Etablierung von mechanischen Thoraxkompressionssystemen stellt hier eine große Chance da. Durch die Anpassung der Kompressionen – z. B. in Tiefe, Frequenz, Amplitude und Ablauf – an die Auswertung der Vitaldaten lässt sich eine geschlossene Kommunikation (closed loop) erreichen. Eine theoretische Umset-

zung dieser individualisierten Reanimation wurde u. a. bereits 2016 beschrieben [15]. Damit lässt sich die Reanimation vollständig an den Patienten anpassen, um möglichst optimale Ergebnisse zu erzielen.

**Merke**

**Die individualisierte Reanimation durch enge Vernetzung von mechanischem Thoraxkompressionssystem und gemessenen Vitalwerten sowie Defibrillationserfolgsanalysen ist möglich und wird zukünftig die Reanimatologie wesentlich verändern.**

**Offene Fragen**

Allerdings sind noch einige Fragen und Probleme auf dem Weg zur personalisierten Reanimation zu beantworten bzw. zu lösen. So stehen für einige der oben vorgestellten Vitalwerte noch keine geeigneten und in der Reanimationssituation funktionsfähigen nicht invasiven Messtechniken zur Verfügung. Insbesondere die wichtigen zerebralen und koronaren Perfusionsdrücke lassen sich aktuell nur invasiv in tierexperimentellen Studien während der Reanimation untersuchen.

Darüber hinaus sind Umstände eines Herz-Kreislauf-Stillstandes denkbar, die einen „einfachen“ Algorithmus unmöglich machen. So könnte beispielsweise bei einem Spannungspneumothorax und folgendem Herz-Kreislauf-Stillstand aus einem niedrigen etCO<sub>2</sub> nur bedingt auf die Qualität der Thoraxkompressionen geschlossen werden. Hier wird auch eine wiederholte Erhöhung der Drucktiefe und Variation des Druckpunktes keine Verbesserung ergeben. Für diese Fälle braucht es weitere Untersuchungen und die Einbindung künstlicher Intelligenz, um solche Überlegungen erfolgreich umzusetzen.

**INFO****eCPR**

Neben der Individualisierung der „klassischen Thoraxkompression“ durch Mensch oder Maschine werden zunehmend auch invasive Verfahren im Rahmen der eCPR (extrakorporale kardiopulmonale Reanimation) an Bedeutung gewinnen. Der Einsatz von extrakorporalen Unterstützungssystemen (extracorporeal life system, ECLS) ist inzwischen in vielen Kliniken und einigen Rettungsdiensten etabliert. Die genauen Kriterien für die Auswahl dieser Patienten sind aber aktuell noch unklar. Hier könnte KI den Menschen unterstützen, die richtigen Patienten für diese vielversprechende, aber aufwendige Therapieform auszuwählen.

## Ethische Betrachtung

Bei all den Entwicklungen darf die ethische Betrachtungsweise der immer intelligenter werdenden Technologien aber nicht vernachlässigt werden. Gerade durch KI kann „erlerntes“ Wissen (z. B. Auslesen des EKGs, verfügbare Laborwerte, Wissen um bekannte Vorerkrankungen usw.) genutzt werden, um die medizinisch besten Entscheidungen zu treffen. Das künstliche System wird hierbei so trainiert, dass die Quote einer erfolgreichen Reanimation mindestens gleichwertig, im Grunde aber besser ist als bei einer rein „menschlichen“ Intervention.

### Merke

**Dieser Erfolg kann sich dann einstellen, wenn die Zahl der verfügbaren Informationen (EKG, Laborwerte, korreliertes Überleben usw.) und die Zahl der KI-unterstützten (hoffentlich erfolgreichen) Reanimationen immer größer werden.**

## DL-Ansatz

Ein „Deep-Learning“-Ansatz (DL-Ansatz) dagegen nutzt den hypothesenfreien („unsupervised“) Raum und lernt ausschließlich an der zunehmenden Zahl tatsächlich erfolgreicher Reanimationen ohne vorherige Instruktionen durch den Arzt. Theoretisch entscheidet die Maschine selbst, welches Vorgehen den größten Erfolg für eine Reanimation beim individuellen Patienten bietet, d. h. ohne jegliche Instruktion/Anleitung durch den Experten. Dies führt dabei zu einem ethischen Dilemma: Denn DL benötigt viel Erfahrung, d. h. viele Daten („Big Data“), und somit viele Reanimationen, um den besten Ansatz zu erlernen. Es liegt auf der Hand, dass dies für die ersten 100 oder auch 1000 Patienten einen vielleicht negativen bzw. fatalen Verlauf nehmen könnte.

Theoretisch käme am Ende zwar ein deutlich verbesserter Reanimationsalgorithmus heraus, der vielleicht auch schon die Ursachen des individuellen Herz-Kreislauf-Stillstandes besser berücksichtigen würde. Aber einer solchen Studie wird wohl keine Ethikkommission zustimmen [16].

## Aus-, Fort- und Weiterbildung in Reanimation 4.0

Der klassische Frontalunterricht gehört in der Aus-, Fort- und Weiterbildung zur Reanimation sowie allgemein in der Notfallmedizin zunehmend der Vergangenheit an. Viele Studien konnten zeigen, dass die praktische Anwendung durch die Teilnehmer (hands-on) den Lernerfolg verbessert. Inzwischen sind neben Kleingruppentrainings auch Simulationstrainings nicht mehr aus der notfall-

medizinischen Lehre wegzudenken. Darüber hinaus spielt das Training von Crew Resource Management (CRM) eine zunehmend wichtigere Rolle in allen Unterrichtskonzepten [17].

## Virtual Reality

Die Möglichkeiten der „augmented reality“ bzw. „virtual reality“ halten zunehmend auch in der notfallmedizinischen Lehre Einzug. Die Arbeitsgruppe um Steve Balian aus Philadelphia konnte zeigen: Die Integration eines visuellen Feedbacks mithilfe einer Datenbrille zu den durchgeführten Thoraxkompressionen im Rahmen eines Basic-Life-Support-Trainings erzeugt eine hohe Zufriedenheit von Mitarbeitern im Krankenhaus [18]. Umfangreichere Lernumgebungen im Rahmen der „virtual reality“ mit virtueller Umgebung, virtueller Teaminteraktion und Feedback scheinen auch eine Alternative zu klassischen Teamtrainings der Reanimation zu sein. So können möglicherweise Kosten und Aufwand für solche Trainings in Zukunft reduziert werden [19].

### Merke

**Virtual Reality ist eine gute Erweiterung bestehender Schulungskonzepte zu Reanimationsmaßnahmen.**

## Serious Games

Eine weitere Möglichkeit, aufwendige Simulationskurse zumindest zum Teil zu ergänzen oder zu ersetzen, ist der Einsatz sog. „serious games“. In einem Review aus diesem Jahr wurden verschiedene Spiele untersucht, welche die Neugeborenen-Reanimation thematisieren. Die Autoren schlussfolgerten, dass „serious games“ das Potenzial haben, die Fertigkeiten und das Wissen sowie die Adhärenz zu Algorithmen zu verbessern [20]. In Kombination mit „virtual reality“ scheinen die „serious games“ weitere Vorteile zu haben [21]. Allerdings zeigen andere Arbeiten, dass die Möglichkeiten von „serious gaming“ möglicherweise doch nicht klassischen Online-Kursen überlegen sind. Auch ist in beiden Fällen praktisches Simulationstraining in der Reanimation notwendig [22].

## Zusammenfassung

Die Reanimation der Zukunft wird durch die Technik bestimmt. Wiederholt konnten Untersuchungen zeigen, dass z. B. die Wahl des Druckpunktes der aktuellen Reanimationsleitlinien nicht für jeden Patienten optimal ist. Darüber hinaus lassen sich inzwischen Zeitpunkte mit gutem Defibrillationserfolg oder Hinweise auf ROSC aus gemessenen Werten ableiten. Die Reanimation der Zukunft wird daher von Biofeedback anhand von Vitaldaten (z. B. etCO<sub>2</sub>, zerebrale Oxymetrie...) an den individuellen Patienten angepasst werden. Mithilfe von mechanischen Thoraxkompressionssystemen ist sogar ein „closed loop“ möglich.

## KERNAUSSAGEN

- Die Schnappatmung wird häufig nicht erkannt. Dies verzögert den Beginn von Reanimationsmaßnahmen.
- Künstliche Intelligenz kann Schnappatmung sicherer erkennen und sollte den Leitstellendisponenten bei seiner Entscheidung unterstützen.
- Radiologische Untersuchungen zeigen, dass der aktuell in den Reanimationsleitlinien des ERC empfohlene Druckpunkt nicht optimal ist.
- Transösophageale Echokardiografien während der Reanimation konnten zeigen, dass bei Thoraxkompressionen am klassischen Druckpunkt wiederholt der LVOT und/oder die Aortenwurzel komprimiert wurde.
- Akzelerometrische Feedback-Sensoren ermöglichen nur eine Rückmeldung zur Mechanik der Kompression und nicht zur Auswirkung auf den Patienten.
- Vitaldaten (z. B. etCO<sub>2</sub>) liefern Biofeedback und ermöglichen ggf. zukünftig eine individualisierte, auf den Patienten zugeschnittene Reanimation.
- „Virtual Reality“ ergänzt bestehende Ausbildungskonzepte und stellt zusammen mit „Serious Gaming“ eine Option zur ergänzenden Wissensvermittlung dar.

## Interessenkonflikt

### Erklärung zu finanziellen Interessen

Forschungsförderung erhalten: nein; Honorar/geldwerten Vorteil für Referententätigkeit erhalten: nein; Bezahler Berater/interner Schulungsreferent/Gehaltsempfänger: nein; Patent/Geschäftsanteile/Aktien (Autor/Partner, Ehepartner, Kinder) an im Bereich der Medizin aktiven Firma: nein; Patent/Geschäftsanteile/Aktien (Autor/Partner, Ehepartner, Kinder) an zu Sponsoren dieser Fortbildung bzw. durch die Fortbildung in ihren Geschäftsinteressen berührten Firma: nein.

### Erklärung zu nichtfinanziellen Interessen

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht. Stephan Seewald ist Mitglied des Organisationskommittees des Deutschen Reanimationsregisters.

## Autorinnen/Autoren



### Stephan Seewald

Dr. med., Medizinstudium an der Universität zu Lübeck. Facharzt für Anästhesiologie, Zusatzbezeichnung Notfallmedizin. Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin sowie am Institut für Rettungs- und Notfallmedizin (IRuN) am Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel. Mitglied des Organisationskomitees des Deutschen Reanimationsregisters. Forschungsschwerpunkt: Notfallmedizinische Versorgungsforschung.



### Barbara Jakisch

Gesundheitsökonomie-Studium in Neu-Ulm (B.A.) und Ludwigshafen (M.Sc.) von 2011 bis 2017, mit 2 Auslandsaufenthalten. 2017–2019 Projektmanagerin am Institut für Rettungs- und Notfallmedizin des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein und Koordinatorin des Deutschen Reanimationsregisters.

## Korrespondenzadresse

### Dr. med. Stephan Seewald

Institut für Rettungs- und Notfallmedizin  
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein  
Arnold-Heller-Straße 3, Haus 808  
24105 Kiel  
stephan.seewald@uksh.de

## Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen

Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen für diesen Beitrag ist Dr. med. Stephan Seewald, Kiel.

## Literatur

- [1] Wnent J, Gräsner JT, Seewald S et al. Jahresbericht des Deutschen Reanimationsregisters Außerklinische Reanimation 2018. *Anästh Intensivmed* 2019; 60: V91–V93
- [2] Chan J, Rea T, Gollakota S et al. Contactless cardiac arrest detection using smart devices. *NPJ Digit Med* 2019; 2: 52
- [3] Blomberg SN, Folke F, Erbsoll AK et al. Machine learning as a supportive tool to recognize cardiac arrest in emergency calls. *Resuscitation* 2019; 138: 322–329
- [4] Kouwenhoven WB, Jude JR, Knickerbocker GG. Closed-chest cardiac massage. *JAMA* 1960; 173: 1064–1067
- [5] Perkins GD, Handley AJ, Koster RW et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 2. Adult basic life support and automated external defibrillation. *Resuscitation* 2015; 95: 81–99
- [6] Cha KC, Kim YJ, Shin HJ et al. Optimal position for external chest compression during cardiopulmonary resuscitation: an analysis based on chest CT in patients resuscitated from cardiac arrest. *Emerg Med J* 2013; 30: 615–619
- [7] Nestaas S, Stensaeth KH, Rosseland V et al. Radiological assessment of chest compression point and achievable com-

- pression depth in cardiac patients. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2016; 24: 54
- [8] Fair J, Mallin M, Mallema H et al. Transesophageal Echocardiography: Guidelines for Point-of-Care Applications in Cardiac Arrest Resuscitation. *Ann Emerg Med* 2018; 71: 201–207
- [9] Hwang SO, Zhao PG, Choi HJ et al. Compression of the left ventricular outflow tract during cardiopulmonary resuscitation. *Acad Emerg Med* 2009; 16: 928–933
- [10] Teran F, Dean AJ, Centeno C et al. Evaluation of out-of-hospital cardiac arrest using transesophageal echocardiography in the emergency department. *Resuscitation* 2019; 137: 140–147
- [11] Aiello S, Perez M, Cogan C et al. Real-time ventricular fibrillation amplitude-spectral area analysis to guide timing of shock delivery improves defibrillation efficacy during cardiopulmonary resuscitation in swine. *J Am Heart Assoc* 2017; 6: e006749
- [12] Engel TW 2nd, Thomas C, Medado P et al. End tidal CO<sub>2</sub> and cerebral oximetry for the prediction of return of spontaneous circulation during cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2019; 139: 174–181
- [13] Lee Y, Shin H, Choi HJ et al. Can pulse check by the photoplethysmography sensor on a smart watch replace carotid artery palpation during cardiopulmonary resuscitation in cardiac arrest patients? A prospective observational diagnostic accuracy study. *BMJ Open* 2019; 9: e023627
- [14] Widmann N, Sutton R, Buchanan N et al. Simulating blood pressure and end tidal CO<sub>2</sub> in a CPR training manikin. *Comput Methods Programs Biomed* 2019; 180: 105009
- [15] Wang C, Zhang G, Wu T et al. Closed-loop controller for chest compressions based on coronary perfusion pressure: a computer simulation study. *Med Biol Eng Comput* 2016; 54: 273–281
- [16] Huss R. Künstliche Intelligenz, Robotik und Big Data in der Medizin. Heidelberg: Springer; 2019: 15
- [17] Greif R, Lockey AS, Conaghan P et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 10. Education and implementation of resuscitation. *Resuscitation* 2015; 95: 288–301
- [18] Balian S, McGovern SK, Abella BS et al. Feasibility of an augmented reality cardiopulmonary resuscitation training system for health care providers. *Heliyon* 2019; 5: e02205
- [19] Khanal P, Vankipuram A, Ashby A et al. Collaborative virtual reality based advanced cardiac life support training simulator using virtual reality principles. *J Biomed Inform* 2014; 51: 49–59
- [20] Ghoman SK, Patel SD, Cutumisu M et al. Serious games, a game changer in teaching neonatal resuscitation? A review. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2020; 105: 98–107
- [21] Aksoy E. Comparing the effects on learning outcomes of tablet-based and virtual reality-based serious gaming modules for basic life support training: Randomized trial. *JMIR Serious Games* 2019; 7: e13442
- [22] Drummond D, Delval P, Abdenouri S et al. Serious game versus online course for pretraining medical students before a simulation-based mastery learning course on cardiopulmonary resuscitation: A randomised controlled study. *Eur J Anaesthesiol* 2017; 34: 836–844

## Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0881-8339>  
 Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 2020; 55: 246–255 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York  
 ISSN 0939-2661

## Punkte sammeln auf CME.thieme.de



Diese Fortbildungseinheit ist in der Regel 12 Monate online für die Teilnahme verfügbar. Den genauen Einsendeschluss finden Sie unter <https://cme.thieme.de/>. Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, finden Sie unter <https://cme.thieme.de/hilfe> eine ausführliche Anleitung. Wir wünschen viel Erfolg beim Beantworten der Fragen!

Unter <https://eref.thieme.de/CXCVED1> oder über den QR-Code kommen Sie direkt zur Startseite des Wissenstests.

VNR 2760512020158720587



### Frage 1

Welche Aussage zur industriellen Revolution ist richtig?

- A Die industrielle Revolution 1.0 bezeichnet die Digitalisierung.
- B Die industrielle Revolution 2.0 bezeichnet die Massenproduktion von Waren durch die Einführung von Fließbändern und Nutzung der elektrischen Energie.
- C Die industrielle Revolution 3.0 bezeichnet die Nutzung von Dampf- und Wasserkraft.
- D Die industrielle Revolution 4.0 bezeichnet die Massenproduktion von Waren durch die Einführung von Fließbändern und Nutzung der elektrischen Energie.
- E Die industrielle Revolution 1.0 bezeichnet die Einführung künstlicher Intelligenz.

### Frage 2

Welche Aussage ist richtig?

- A Die Erkennung der Schnappatmung durch den Leitstellendisponenten ist nicht notwendig, da in einem ernst zu nehmenden Notfall ohnehin RTW und NEF alarmiert werden.
- B Die Schnappatmung wird fast immer vom Anrufer korrekt als nicht normale Atmung erkannt.
- C Patienten mit einem Herz-Kreislauf-Stillstand, bei denen die Schnappatmung erkannt wird, besitzen die schlechtesten Überlebenschancen verglichen mit Patienten ohne Schnappatmung.
- D Die Schnappatmung oder nicht normale Atmung tritt zu Beginn eines Herz-Kreislauf-Stillstandes auf.
- E Bei nicht normaler Atmung und bewusstlosem Patienten sollte auf eine Reanimation verzichtet werden.

### Frage 3

Welche Aussage zu den Thoraxkompressionen ist richtig?

- A Nach den aktuellen Leitlinien zur Reanimation ist der Druckpunkt der Thoraxkompressionen beim Erwachsenen in der Mitte des Brustkorbes.
- B Thoraxkompressionen auf dem aktuell in den Leitlinien empfohlenen Druckpunkt führen häufiger zur Kompression der Milz als des linksventrikulären Ausflusstraktes (LVOT).
- C Studien empfehlen, den Druckpunkt eher um 3 cm nach rechts zu verschieben, um eine Kompression des LVOT und der Aortenwurzel zu vermeiden.
- D Untersuchungen mittels transösophagealer Echokardiografie zeigen, dass eine Veränderung des Druckpunktes der Thoraxkompression in keinem Fall eine Verbesserung der Kompression des linken Ventrikels auslösen kann.
- E Der Druckpunkt sollte eher proximal des aktuell in den Leitlinien empfohlenen gewählt werden, um eine Kompression des LVOT zu vermeiden.

### Frage 4

Welche Aussage zur eCPR ist richtig?

- A eCPR bezeichnet eine besonders lang anhaltende manuelle CPR (= extended CPR) über 60 min.
- B eCPR sollte insbesondere für Menschen am Lebensende (z. B. hohes Alter, maligne Grunderkrankung) zum Einsatz kommen.
- C eCPR bezeichnet die Implantation eines ECLS (extrakorporalen Unterstützungssystems) während der Reanimation.
- D Der Einsatz von eCPR ist aktuell nur im Krankenhaus möglich.
- E Die Einsatzindikationen für eCPR sind klar definiert.

### Frage 5

Mithilfe welchen Verfahrens lässt sich die Qualität von Herzdruckmassagen *nicht* beurteilen?

- A endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Messung
- B invasive Blutdruckmessung
- C Messung des zerebralen Perfusionsdrucks
- D Augennendruckmessung
- E Messung des koronaren Perfusionsdrucks

► Weitere Fragen auf der folgenden Seite...

## Punkte sammeln auf CME.thieme.de

Fortsetzung ...

### Frage 6

Welche Aussage zu den heute üblichen Feedback-Sensoren für die Thoraxkompression ist richtig?

- A Sie erlauben eine Abschätzung von Tiefe und Frequenz der Thoraxkompressionen.
- B Sie detektieren Hinweise auf ROSC (Return of spontaneous Circulation).
- C Sie erlauben eine Defibrillation ohne Unterbrechung der Herzdruckmassage.
- D Sie geben einen Hinweis auf den durch die Thoraxkompressionen erzeugten koronaren Perfusionsdruck.
- E Sie ermitteln automatisch den korrekten Druckpunkt.

### Frage 7

Wie heißt das Verfahren, welches eine Abschätzung des Defibrillationserfolges durch Analyse des EKG bei Kammerflimmern ermöglichen kann?

- A DESA
- B AMSA
- C GRRR
- D ELSA
- E EMSA

### Frage 8

Welche Unterrichtsmethode sollte in modernen Kurskonzepten zu Reanimationsmaßnahmen nur eine untergeordnete Rolle spielen?

- A Serious Gaming
- B Virtual Reality
- C Hands-on Training
- D Frontalvorlesung
- E E-Learning

### Frage 9

Welches Verfahren kann *keine* Anhaltspunkte für einen ROSC liefern?

- A in Smartwatches integrierte Fotoplethysmografie-Sensoren
- B zerebrale Oxymetrie
- C endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Messung
- D Beobachten der einsetzenden Spontanatmung
- E Messung der Körpertemperatur

### Frage 10

Wie viel Prozent der prähospitalen Herz-Kreislauf-Stillstände ereignen sich in Deutschland in häuslicher Umgebung?

- A 20%
- B 40%
- C 60%
- D 80%
- E >90%