

## Systematisches Risikomanagement für eine geplante Gasabschaltung im High-Care-Bereich eines Universitätsklinikums

Axel R. Heller, Maria Eberlein-Gonska, Hanns C. Held, Thea Koch

### Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Heller, Axel R., Maria Eberlein-Gonska, Hanns C. Held, and Thea Koch. 2023.  
"Systematisches Risikomanagement für eine geplante Gasabschaltung im  
High-Care-Bereich eines Universitätsklinikums." *Die Anaesthesiologie* 72 (4): 282–92.  
<https://doi.org/10.1007/s00101-023-01254-8>.



# Systematisches Risikomanagement für eine geplante Gasabschaltung im High-Care-Bereich eines Universitätsklinikums

Axel R. Heller<sup>1,2,3</sup> · Maria Eberlein-Gonska<sup>4</sup> · Hanns C. Held<sup>5</sup> · Thea Koch<sup>2</sup>
<sup>1</sup> Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Augsburg, Augsburg, Deutschland  
<sup>2</sup> Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Dresden, Dresden, Deutschland  
<sup>3</sup> medizinischer Katastrophenschutzbeauftragter, Universitätsklinikum Dresden, Dresden, Deutschland  
<sup>4</sup> Qualitäts- und Medizinisches Risikomanagement, Universitätsklinikum Dresden, Dresden, Deutschland  
<sup>5</sup> Klinik und Poliklinik für Viszeral-, Thorax- und Gefäßchirurgie, Universitätsklinikum Dresden, Dresden, Deutschland

## Einleitung

Baumaßnahmen im Betrieb eines Krankenhauses haben meist einen indirekten oder direkten Einfluss auf die Krankenhausfunktionalität, ggf. seine Kapazität und auch auf medizinische Behandlungsprozesse [1]. Nicht nur die Implementierung neuester Technik, sondern auch die Instandhaltung und Erweiterung der Betriebstechnik sind wichtige Aspekte in der Fortentwicklung eines Krankenhauses [2].

Im Rahmen von Erweiterungsbaumaßnahmen am Uniklinikum Dresden war eine vorübergehende Überbrückung der medizinischen Gasversorgung in Teilen des chirurgischen Zentrums notwendig. Daten zur Bemessung der Vorhaltungen für einen derartigen Eingriff sind bislang nicht publiziert. Die Umbaumaßnahme erfolgte im Gebäudeteil 4 (**Abb. 1, Kreis**).

Grundsätzlich wird das Gebäude an 2 Stellen über eine Ringleitung redundant eingespeist (**Abb. 1, Ring EG**). Die direkte Verbindung der Ringleitungseinspeisungen konnte nur zwischen den Gebäudeteilen 1 und 2 getrennt werden (**Abb. 1, Markierung A0**). Die Unterbrechung und Einspeisung ist aber auf der Stationsebe-

ne bzw. für den OP-Bereich selektiv möglich (**Abb. 1, Markierungen A1–A8**). Das abtrennbare Gebäudeteil 1 konnte während der Maßnahme weiter aus der Ringleitung gespeist werden. Für die Gebäudeteile 2–4, in denen 3 intensivmedizinische Teilstationen und 6 Normalstationen mit je 28 Betten untergebracht waren, bestand der Bedarf einer interimistischen dezentralen Gasversorgung. Aufgrund der im Wochenendbetrieb verfügbaren OP-Kapazitäten wurde der ebenfalls betroffene OP-Trakt für die Dauer der Umschlussmaßnahme außer Betrieb genommen. Selbst unter der Voraussetzung, dass die Patientensicherheit zu 100 % gewährleistet werden sein muss, ist eine mit 4 h veranschlagte Baumaßnahme, auch in einem medizinischen Hochrisikobereich, keine Rechtfertigung für eine komplette Unterbrechung des chirurgischen Krankenhausbetriebs; dies gilt insbesondere in der komplexen Versorgung an einem Universitätsklinikum. Ein komplettes Freiziehen aller betroffenen Bettplätze und die sukzessive Wiederbelegung nach der Maßnahme hätten eine überregional relevante Einbuße von spezialisierter chirurgischer Behandlungskapazität über mehrere Tage bedeutet [2]. Daneben müssen Nutzen und Ri-

Der Autor A. R. Heller war bis 2018 medizinischer Katastrophenschutzbeauftragter des Universitätsklinikums Dresden.



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

siken einer kompletten Patientenverlagerung, insbesondere von High-Care-Patienten in andere Klinikteile oder gar nach extern, genau erwogen werden [1, 3]. Im Sinne des konsequenzbasierten Modells der Krankenhausalarm- und Krankenhauseinsatzplanung nach Wurmb [1] handelte es sich im vorliegenden Szenario um einen Eingriff in die Krankenhausbetriebstechnik mit potenziellen Folgen für die Funktionalität der Klinik und in der Konsequenz ihrer Kapazität. Eine ausreichende Vorbereitungszeit ohne Bestehen einer Eigengefährdung war gegeben.

Kommunikationsmängel sind die Hauptursache für Fehler in medizinischen Hochrisikobereichen [4]. Entsprechend wurde zur Risikoabschätzung und Projektabstimmung der Beauftragte für das Notfallmanagement und den Katastrophenschutz des Uniklinikums involviert [5]; dieser stellte in seinen weiteren Rollen als Sprecher der OP-Steuergruppe und leitender Oberarzt in der Anästhesie eine interprofessionelle Projektgruppe aus Technikern, Klinikern, Pflegeleitungen sowie dem medizinischen Qualitäts- und Risikomanagement zusammen.

Ziel war, eine Umsetzungsmöglichkeit mit Nullfehlertoleranz zu schaffen [6, 7]. Dazu gehört sowohl eine Bedarfsabschätzung als auch eine Fehlermöglichkeitsanalyse [8, 9], um mögliche Gefahrenquellen im Vorfeld erkennen sowie den Prozess für alle Beteiligten verständlich und sicher planen zu können. Ein wichtiger Erfolgsfaktor ist die direkte Einbindung aller am Prozess beteiligten Fachdisziplinen und Berufsgruppen [7, 10, 11]. Höchste Priorität in der Vorbereitung der Maßnahme hatte deshalb die enge Abstimmung zwischen den medizinischen Abläufen sowie der technischen und personellen Absicherung in der Durchführung. Mithilfe der Error-Risk-Analyse sollten mögliche Fehlerquellen im Vorfeld aufgedeckt werden [8, 12].

## Error-Risk-Analyse

Die Error-Risk-Analyse nach dem London-Protokoll ist ein Instrument des klinischen Risikomanagements [8, 12]. Mithilfe eines strukturierten Verfahrens stellt es ein Modell dar, das sich auf die systematische und organisatorische Unfall-/

**Hintergrund:** Im Rahmen von Erweiterungsbaumaßnahmen am Uniklinikum Dresden war die Abschaltung der zentralen medizinischen Gasversorgung in einem Gebäude mit 3 intensivmedizinischen Teilstationen mit 22 Betten, einem OP-Trakt mit 5 OP und 6 Normalstationen mit je 28 Betten im laufenden Betrieb erforderlich. Damit bestand der Bedarf für die betroffenen Funktionseinheiten, für die Baumaßnahme eine interimistische dezentrale Gasversorgung mit Nullfehlertoleranz zu schaffen.

**Methodik:** Nach etablierten Verfahren der Risiko- und Fehlermöglichkeitsanalyse wurde durch den Notfall- und Katastrophenschutzbeauftragten des Klinikums eine Projektgruppe ins Leben gerufen, die einen Projektplan, eine Bedarfsabschätzung und einen Kommunikationsplan erarbeitete.

**Ergebnisse:** Eine Vielzahl von Risikofaktoren, für die geeignete Gegenmaßnahmen zu konzipieren waren, wurde systematisch ermittelt. Die Bedarfsabschätzung auf Basis physiologischer Parameter für die maximal 22 zu belegenden Beatmungsplätze über 4 h ergab je 26.000 l Sauerstoff und Druckluft. Sieben Einspeisungspunkte wurden mit je zwei 50-l-Flaschen Sauerstoff und Druckluft bestückt, mit einer Gesamtverfügbarkeit von je 175.000 l der beiden Gase. Je 8 weitere Flaschen waren zusätzlich in Reserve. Die Maßnahme wurde an einem Samstag ohne Elektivoperationsprogramm durchgeführt, sodass die betroffenen OP gesperrt werden konnten. Der Zeitpunkt wurde so gewählt, dass während des Nachmittagsschichtwechsels die doppelte Besetzung des Intensivpflegepersonals verfügbar war. Im Vorfeld wurden möglichst viele der Beatmungspatienten klinikintern verlegt. Neun Beatmungspatienten mussten allerdings verbleiben. Der technische Eingriff in die Gasversorgung dauerte lediglich 2 h, ohne Beeinflussung des Patientenzustands. Während der 2-stündigen Interimsversorgung wurden auf den High-Care-Stationen 16.500 l Druckluft und 8000 l Sauerstoff verbraucht. Pro Beatmungspatient ergab sich rechnerisch ein Stundenverbrauch von 917 l Luft (15 l/min) und von 444 l Sauerstoff (7 l/min). Die vorausberechnete Menge auf Basis intensivmedizinischer Erfahrungswerte war deutlich geringer. Die 10fache Vorhaltung der Gasmenge und die vorhersehbar geringere Anzahl von Beatmungspatienten als die zugrunde gelegte Maximalbelegung haben dies mehr als kompensiert.

**Schlussfolgerung:** Für technische Eingriffe in Hochrisikobereichen ist eine sorgfältige Planung und Durchführung in einem effektiven Team erforderlich. Etablierte Verfahren des Projektmanagements und der Risikobewertung helfen in der Fehlervermeidung.

## Schlüsselwörter

Krankenhausalarm- und Krankenhauseinsatzplanung · Beatmung · Intensivmedizin · Sauerstoff · Druckluft

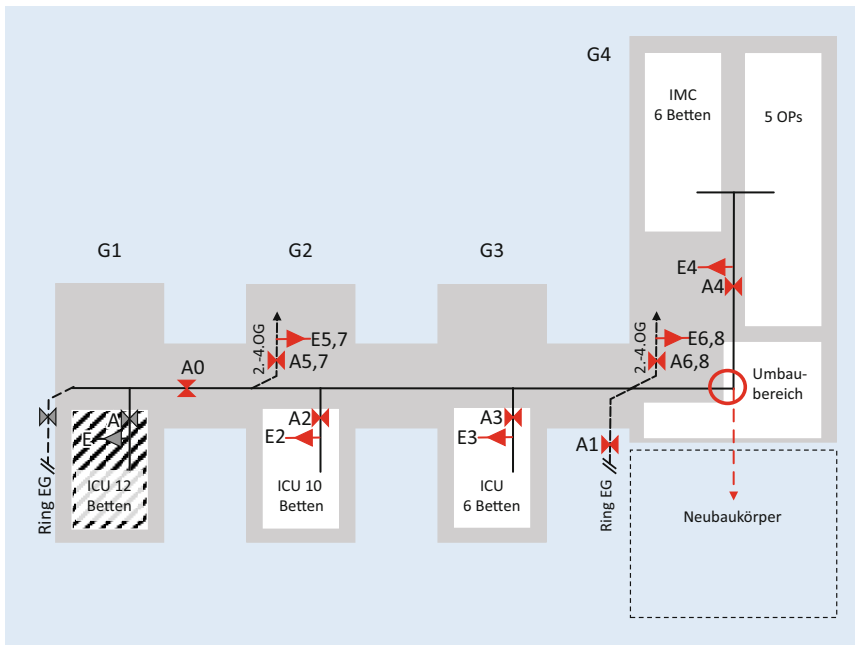
Fehlerentstehung konzentriert und in seiner retrospektiven Anwendung nicht auf Schuldzuweisungen basiert [12]. Aufgrund von äußeren Einflüssen und bewusst bzw. unbewusst durchgeführten Handlungen können Fehler entstehen und Patienten gefährdet werden [13]. Auch müssen Maßnahmen ergriffen werden, damit ggf. bestehende Konflikte der Akteure keine Auswirkung auf den Erfolg der Maßnahme und insbesondere die Patientensicherheit haben [9, 14].

Es lassen sich aktive und latente Fehler unterscheiden, die zudem von variablen Einflussfaktoren unterstützt werden [12, 15]. Aktive Fehler sind aktive Handlungen oder Unterlassungen, die routinemäßig, situations- und einzelfallbedingt auftreten. Hierzu zählen fertigungs-, entscheidungs-

oder wahrnehmungsbasierte Fehler. Latente Fehler hingegen sind aggravierende Begleitumstände, die erst in der Koinzidenz mit aktiven Fehlern ihre Wirkung entfalten [12, 16]. Sie werden üblicherweise erst erkannt, wenn das unerwünschte Ereignis bereits eingetreten ist [17], sind aber folglich hierfür nicht allein verantwortlich [9]. Dennoch kann nach jenen Faktoren gezielt gefahndet werden, bevor eine besondere Maßnahme, wie der im vorliegenden Beitrag betrachtete Gasumschluss im laufenden Betrieb, durchgeführt wird.

## Projektplanung

In einem Gebäudeteil des Universitätsklinikum Dresden (UKD; ■ Abb. 1, Kreis) sollte die medizinische Gasversorgung im zen-



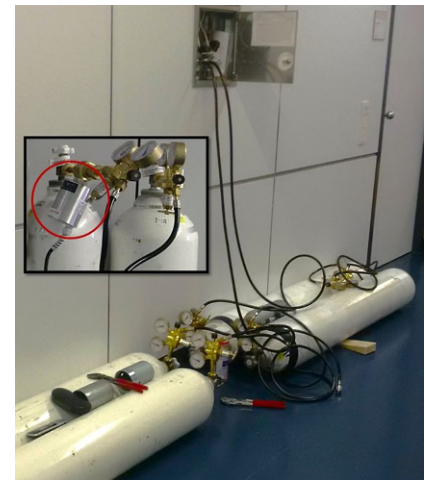
**Abb. 1** ▲ Grundriss 1. Obergeschoss, schematisch mit Sauerstoff-/Druckluftversorgung. High-Care-Stationen in den Gebäudeteilen G1–4. Über die Ringleitung war G1 separat gasversorgt (schraffiert) und diente u. a. zur Verlagerung beatmungspflichtiger Patienten im Vorfeld. Kreis: Umschussmaßnahme, A 0–8 Absperrvorrichtungen, E 2–8 Einspeisungsvorrichtungen. ICU Intensive Care Unit, IMC Intermediate Care Unit

tralen Leitungsnetz unterbrochen werden, um den Anschluss eines Erweiterungsbaus zu ermöglichen. Zur unterbrechungsfreien medizinischen Gasversorgung wurde eine Interimsversorgung mit Gasflaschen geplant. Im Vorfeld des Projekts wurde vorgesehen, in den vom flaschengestützten Interimsbetrieb betroffenen Intensivstationsabschnitten der Gebäudeteile 2–4 (■ **Abb. 1**) möglichst wenige Beatmungspatienten zu belassen. Dadurch wurden der Gasverbrauch möglichst gering gehalten sowie die Fehlermöglichkeiten in der Logistikkette der Gasflaschen und bei ihrem Wechsel im laufenden Interimsbetrieb reduziert [1]. Ebenso wurde entschieden, dass an allen 7 Einspeisungspunkten 50 l Gasflaschen zum Einsatz kommen, um Flaschenwechsel im Interimsbetrieb auf ein Minimalmaß zu begrenzen. Identisch aufgebaute Einspeisungspunkte erleichtern zudem deren Interoperabilität mit Material und Personal und reduzieren Fehlermöglichkeiten [7, 9].

Beatmungspatienten wurden am Vortag, soweit möglich, in das Gebäudeteil 1 mit separatem Gasnetzanschluss bzw. in andere Intensivstationen des UKD aufgenommen bzw. verlegt. Um einen zusätz-

lichen Gasbedarf aus dem OP-Bereich zu vermeiden, erfolgte die Maßnahme an einem Samstag, an dem kein Elektivprogramm in den betroffenen 5 OP geplant worden war. Das Notfallprogramm konnte in anderen nichtbetroffenen Gebäudeteilen des Zentral-OP abgewickelt werden. Eine Bedarfsplanung wurde gemeinsam mit der Medizintechnik und dem Notfallmanagement der Klinik als Worst-Case-Szenario mit Beatmungsvollausslastung durchgeführt. Aus der Maximalbelegung der Stationsteile mit Beatmungspatienten und der Dauer der Maßnahme von maximal 4 h wurde der maximal zu erwartende Gasbedarf unter Zugrundelegung üblicher Beatmungsparameter ermittelt (■ **Tab. 1**).

Es wurde ein Szenario mit invasiver Beatmung mithilfe der gasdruckbetriebenen Beatmungsgeräte EVITA 4 (Fa. Dräger, Lübeck [18]) kalkuliert. Entsprechend den bestehenden Erfahrungswerten bei Beatmungen ohne nichtinvasive Form („non-invasive ventilation“, NIV) oder High-Flow-Nasenkanülen („nasal high-flow cannula“, NHFC) wurden ein Atemminutenvolumen (AMV) von 6,5 l, eine durchschnittliche inspiratorische Sauerstofffraktion ( $F_{iO_2}$ ) von 0,5 und ein Gasverbrauch für den Geräte-



**Abb. 2** ▲ Flaschenbatterie zur Interimsversorgung eines von 7 Abschnitten, Ausschnitt: Anschlussgeweih mit Wärmeelement

betrieb von 3,5 l/min zugrunde gelegt [18]. Der Sauerstoffbedarf für Insufflationen in den restlichen Gebäudeteilen wurde durch den im Wesentlichen technisch bedingten 10fachen Sicherheitspuffer mitberücksichtigt; dieser sollte die Möglichkeit der zeitlichen Ablaufverzögerung ebenso abbilden wie Abweichungen des tatsächlichen vom geschätzten Verbrauch. Da die Vollausslastung aller Beatmungskapazitäten im betroffenen Bereich nach Erfahrungswerten nicht zu erwarten war und auch im Bedarfsfall Verschiebungen in das Gebäudeteil 1 sowie auf andere Stationen mit Beatmungskapazität möglich waren, erschien die Vorhaltung entsprechend ■ **Tab. 1** den realistisch erwartbaren Bedarf um mehr als das 10fache zu übersteigen.

Die Umbaumaßnahme wurde mit einem Vorlauf von 4 Wochen geplant, und alle betroffenen Mitarbeitenden wurden informiert [19]. Um als Rückfallebene für ein nichtvorhersehbares Ausfallszenario ausreichend Kräfte zur Verfügung zu haben, wurde als Zeitpunkt der überlappenden Nachmittagschichtwechsel der Intensivpflegekräfte gewählt, und Transportbeatmungsgeräte wurden vorgehalten. Im Rahmen eines Ausfallszenarios hätten Beatmungspatienten in näher gelegene, am Wochenende ungenutzte Aufwchräume oder OP, die von der Gasabschaltung nicht betroffen waren, verbracht werden können.

Für jeden der Einspeisungspunkte wurde ein verantwortlicher Techniker

<b>Tab. 1</b> Abschätzung der notwendigen Gasvorhaltung unter der Annahme einer Volllastung mit invasiver Beatmung und $F_iO_2$ 0,5, AMV 6,5 l über 4 h, technische Bereitstellung vor Ort und tatsächlicher Verbrauch innerhalb von 2 h		
	Sauerstoff (l)	Druckluft (l)
<b>Bedarfsschätzung</b>		
Pro Beatmungspatient und min	5	5
Pro Beatmungspatient und 4 h	1.200	1.200
<i>Pro Station über 4 h</i>		
ICU, G2, 10 Plätze	12.000	12.000
ICU, G3, 6 Plätze	7.200	7.200
IMC, G4, 6 Plätze	7.200	7.200
<i>Medizinische Gesamtschätzung</i>	<i>26.400</i>	<i>26.400</i>
<b>Bereitstellung</b>		
Technische Bereitstellung, High Care	75.000	75.000
Technische Bereitstellung, Low Care	100.000	100.000
Reserve vor Ort	100.000	100.000
<i>Verfügbarkeit, gesamt</i>	<i>275.000</i>	<i>275.000</i>
<b>Tatsächlicher Verbrauch über 2 h Interimsbetrieb</b>		
Verbrauch, High Care	8000	16.500
Verbrauch, Low Care	2.000	1.000
<i>Verbrauch, gesamt</i>	<i>10.000</i>	<i>17.500</i>
<i>AMV Atemminutenvolumen, <math>F_iO_2</math> inspiratorische Sauerstofffraktion, ICU Intensive Care Unit</i>		

<b>Tab. 2</b> Kommunikationsliste mit Ansprechpartnern und Gasvorhaltung, im Original mit DECT-Rufnummern. Besetzte Stabsfunktionen der Klinikeinsatzleitung S1–4					
Etagenverteiler	Station	Ansprechpartner med. Versorgung (Tel.-Nr.)	Techniker (Tel.-Nr.)	O <sub>2</sub> (50l)	AIR (50l)
–	–	Leitender Ingenieur	[DECT]	–	–
–	–	KatS Beauftragter (S2/S3)	[DECT]	–	–
–	–	Pflegedienstleitung (S1/S4)	[DECT]	–	–
E1	Ambulanz	Am Wochenende geschlossen	Sperrung	–	–
E2	ITS G2	1 Oberarzt [DECT]	A [DECT]	2	2
E3	ITS G3	1 Facharzt [DECT]	B [DECT]	2	2
E4	IMC G4	Stationsleitung [DECT]	C [DECT]	2	2
E5	Wachstation	Stationsleitung [DECT]	D [DECT]	2	2
E6	Normalstation	Stationsleitung [DECT]	E [DECT]	2	2
E7/7'	2 Normalstationen	Pflegekraft [DECT]	F [DECT]	2	2
E8/8'	2 Normalstationen	Pflegekraft [DECT]	G [DECT]	2	2
OP	OP-Teilbereich	Anästhesie [DECT]/OP [DECT]	Sperrung	–	–
Reserve	Keller	Transportdienst [DECT]	–	8	8
<i>AIR Druckluft, DECT Digital Enhanced Cordless Telecommunications, KatS Katastrophenschutz</i>					

eingesetzt, ebenso war ein redundanter Flaschentransportdienst verfügbar. Eine Kommunikationsliste (Tab. 2) mit allen Beteiligten ermöglichte die schnelle Erreichbarkeit über Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) zwischen allen internen und externen Kräften sowie den Verantwortungsträgern in der Klinik [19]. Dadurch ist eine klare Rollenverteilung definiert. Die zentrale Koordination wurde gemeinsam von einem

Ingenieur und dem medizinischen Katastrophenschutzbeauftragten der Klinik wahrgenommen [19]. Eine Bettenabmeldung bei der Rettungsleitstelle erfolgte für die Maßnahme nicht, da entsprechender Kompensationsspielraum in anderen Klinikbereichen existierte.

## Projektdurchführung

Zwei Stunden vor der geplanten Einspeisung wurden die Gasflaschen und das zugehörige Equipment an die Einspeisungspunkte transportiert. Daraufhin erfolgten die Montage der Interimsversorgung an den Etagenverteilern (Abb. 2) sowie die Funktionsprüfung der Anschlussgeweihe. Die Versorgungsbatterien wurden mit 50 l Gasflaschen in Zwillingsmontage realisiert, um einen Austausch der Flaschen im Betrieb zu ermöglichen. Eine standardmäßig nicht vorhandene Aufrüstung mit Sauerstoff- und Druckluftflaschen an allen Bettplätzen wurde nicht für notwendig erachtet, da von der Versorgungstabilität über die interimistische dezentrale Gasversorgung ausgegangen wurde.

In Erwartung hoher Durchflussraten an den Flaschenventilen wurden entsprechende Wärmelemente (Bildausschnitt) eingebaut, die die Vereisung der Ventile bzw. Anschlussgewinde zuverlässig verhinderten. Vereiste Ventile bzw. Gewinde erschweren einen Flaschenwechsel erheblich oder verhindern ihn gar. Neben den jeweils vorgehaltenen 275.000 l medizinischen Sauerstoffs und der Druckluft wurde der externe Lieferant für medizinische Gase für den Tag der Maßnahme vertraglich gebunden, falls notwendig, weiteren Bedarf durch sofortige Zulieferung zu decken.

Die technischen und organisatorischen Vorbereitungen waren planmäßig vor dem Schichtwechsel der Intensivstationen abgeschlossen. Nach Eintreffen der Spätschicht der Intensivpflege auf den Teilstationen und letztem Briefing um 14 Uhr erfolgten die abschnittsweise Absperrung der zentralen Gasversorgung und die Prüfung der Versorgungstabilität durch die dezentralen Flaschenbatterien in einer vorbestimmten Reihenfolge. Bei stabilen 5 bar kam es in keinem Fall zu Druckschwankungen. Die Versorgungsumstellung an den Bettplätzen vollzog sich entsprechend unmerklich stabil. Die Abschaltung der Steigleitungen erfolgte im Fünfminutentakt, wobei ein Absperrventil nur mithilfe einer Zange geöffnet werden konnte. Der Zugang zu einem anderen Absperrventil wurde verzögert, weil sich Elemente der Hängedekke nicht entfernen ließen. Zwanzig Minuten später



<b>Tab. 3</b> Fehlerbegünstigende Faktoren gemäß dem London Protokoll. (Aus Taylor-Adams et al. [12])	
<b>Faktorart</b>	<b>Einflussnehmende Faktoren</b>
Patienten-faktoren	Zustand (Komplexität und Schweregrad) Sprache und Kommunikation Persönlichkeit und soziale Faktoren
Aufgaben- und Verfahrensfaktoren	Aufgaben- und Prozessgestaltung sowie strukturelle Klarheit Verfügbarkeit und Verwendung von Richtlinien und Verfahrensanweisungen Verfügbarkeit und Genauigkeit von Testergebnissen Entscheidungshilfen
Individuelle Faktoren (Personal)	Kenntnisse und Fähigkeiten, Kompetenz Körperliche und psychische Gesundheit
Teamfaktoren	Mündliche Kommunikation Schriftliche Kommunikation Supervision und Hilfesuche Teamstruktur (Passung/Übereinstimmung, Beständigkeit, Führung usw.)
Faktoren des Arbeitsumfeldes	Personalbestand und Qualifikationsmix Arbeitsbelastung und Schichtpläne Beschaffenheit, Verfügbarkeit und Instandhaltung der technischen Ausstattung Unterstützung durch Verwaltung und Geschäftsleitung Physische Umgebung
Organisation und Managementfaktoren	Finanzielle Ressourcen und Einschränkungen Organisationsstruktur Grundsätze, Standards und Ziele Sicherheitskultur und Prioritäten
Faktoren des institutionellen Rahmens	Wirtschaftlicher und regulatorischer Kontext Gesundheitspolitik Verbindungen mit externen Organisationen

wurde im Gesamtsystem als „point of no return“ [7, 17] der Druck abgelassen, sodass die Umbauarbeiten planmäßig durchgeführt werden konnten.

Blutgasanalysen der beatmeten Patienten vor und während des Umschlusses zeigten keine Auswirkungen durch den temporären dezentralen Flaschenbetrieb.

Bereits um 16 Uhr waren die Arbeiten mit der Rückschaltung zur zentralen Gasversorgung abgeschlossen. Danach wurden die medizinischen Verantwortungsbereiche informiert, und die Fertigstellung wurde übermittelt. Die Interimsversorgung konnte dementsprechend demontiert und der Baubereich gereinigt werden.

Der Intensivbereich im Gebäudeteil 1 blieb unbeeinflusst in Betrieb. Die betroffenen OP blieben für den Zeitraum der Umbauarbeiten gesperrt, bis die Freigabe durch die Techniker erfolgt war. Notwendige operative Eingriffe im Umschlusszeitraum wurden in OP-Bereichen anderer Gebäudeteile durchgeführt.

## Diskussion

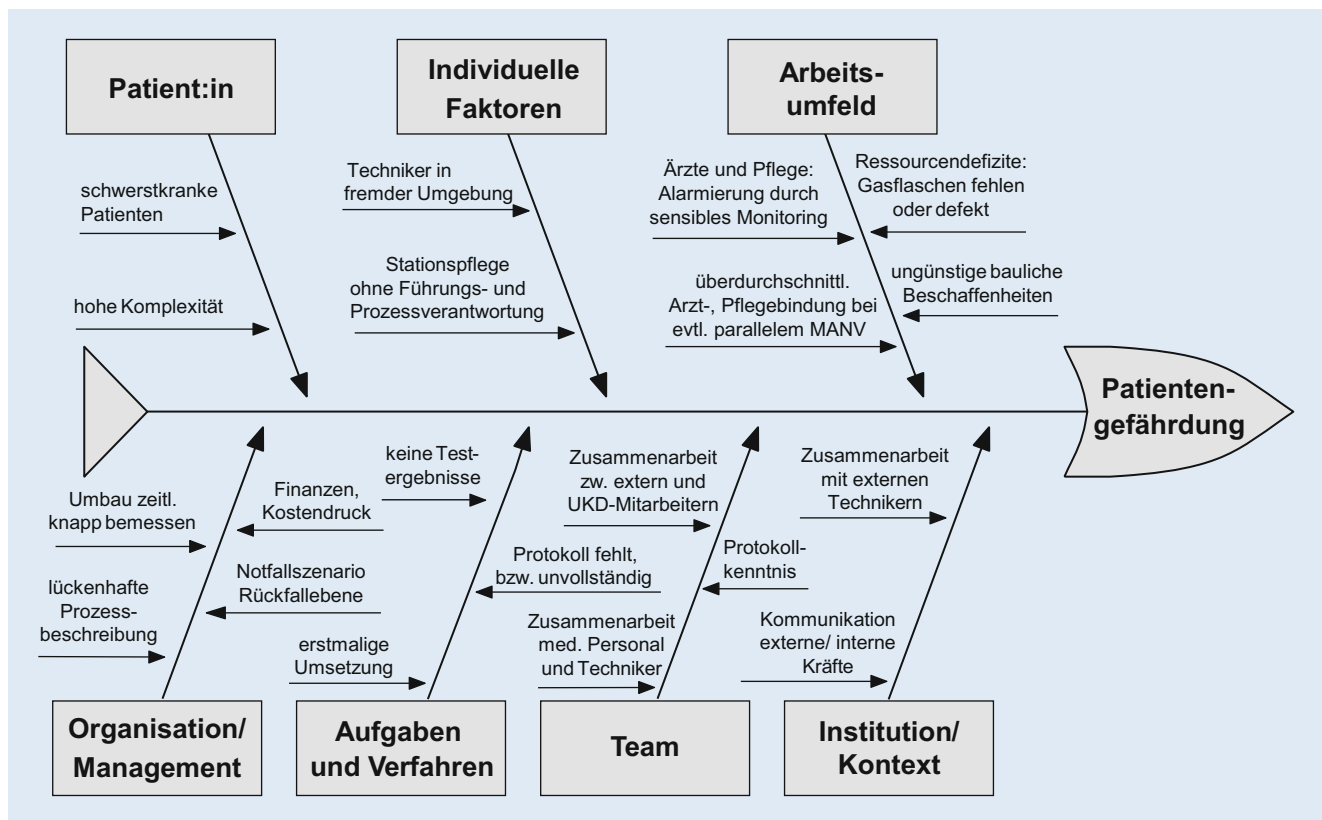
Krankenhäuser jeglicher Größe sind hochkomplexe Einrichtungen der Daseinsvorsorge [11, 20]. Eine Beeinträchtigung der Betriebssicherheit stellt grundsätzlich eine Gefährdung der anvertrauten Patienten dar, weshalb Systeme mehrfach abgesichert sein müssen. Gleichzeitig entwickelt sich die Medizin ständig weiter, sodass auch medizinische Einrichtungen mit dem Fortschritt u.a. baulich Schritt halten müssen. Ein „Abmelden“ von der medizinischen Versorgung für geplante Umbaumaßnahmen ist ab einer bestimmten Versorgungsstufe nicht möglich, ohne die überregionale Versorgung mit spezialisierten Leistungen zu beeinträchtigen [2, 21]. Dies bedingt u.a., dass Baumaßnahmen im laufenden Betrieb durchgeführt werden müssen. Die Bedeutung dieses Zusammenspiels im Patientenversorgungsbetrieb ist vielen Mitarbeitenden im Gesundheitswesen nicht bewusst. Ein entsprechendes Bewusstsein fördern Maßnahmen des Qualitäts- und Risikomanagements, z. B. in Form der

Durchführung von internen bzw. Risiko-Audits [8].

Am UKD wurde im Rahmen von Erweiterungsbaumaßnahmen die Abschaltung der zentralen Gasversorgung in einem Gebäude mit 34 High-Care- bzw. Intermediate-Care-Betten, 5 OP und 6 Normalstationen mit insgesamt 168 Betten während des laufenden Krankenhausbetriebes erforderlich. Daten zum Gasverbrauch eines derartigen Eingriffs in den Krankenhausbetrieb, insbesondere für eine dezentrale Flaschengasversorgung, sind bislang nicht publiziert.

Die Umbaumaßnahme wurde durch eine interprofessionelle Projektgruppe geplant und begleitet; diese sollte sicherstellen, dass eine Patientengefährdung ausgeschlossen wird [9, 22, 23]. Insgesamt wurde von den vorgehaltenen 550.000 l der medizinischen Gase in 50-l-Flaschen nur rund ein Zwanzigstel, genau 27.500 l verbraucht. Für die Intensivstationen mit insgesamt noch 9 Beatmungspatienten während der 2-stündigen Interimsversorgung zeigte sich ein Verbrauch der Druckluft von 16.500 l und des Sauerstoffs von 8.000 l. Die sich hieraus ergebende technische  $F_{I}O_2$  von 33 % ist unter Berücksichtigung der Ablesetoleranz der analogen Flaschenmanometer plausibel nahe bei den mittleren automatisiert im Patientendatenmanagementsystem (PDMS) dokumentierten Einstellungen der Beatmungsgeräte von 37 %. Damit kann für die betreute Patientenklientel pro Beatmungspatient ein Stundenverbrauch von 917 l Luft (15 l/min) und von 444 l Sauerstoff (7 l/min) errechnet werden. Die in der Planung verwendeten Schätzwerte, die sich an physiologischen Größen orientiert haben (■ Tab. 1), lagen deutlich darunter. Nicht berücksichtigt, da nicht sicher bestimmbar, war das Gasvolumen der Gebäudegasversorgungsanlage. Der 10fache Sicherheitsaufschlag in der vorgehaltenen Gasmenge gegenüber der Bedarfschätzung und die nach Erfahrungswerten vorhersehbar deutlich geringere Anzahl von Beatmungspatienten ( $n=9$ ) haben dies mehr als kompensiert. Der Bedarfsberechnung wurde absichtlich eine praktisch auszuschließende Maximalbelegung mit 22 Beatmungspatienten zugrunde gelegt.

Ein Umstand muss im Zusammenhang mit der Versorgung aller Abschnitte mit



**Abb. 3** ▲ Ishikawa-Diagramm des Projektrisikoumfelds und modulierender Faktoren analog des London-Protokolls [12].  
MANV Massenanfall von Verletzten, UKD Universitätsklinikum Dresden

den festen Mengengebinden der 50-l-Flaschen (Tab. 2) berücksichtigt werden: Die Low-Care-Abschnitte E5–E8 haben mit ihrem geringem Verbrauch von 3.000 l in 2 h eine anderweitig nicht nutzbare Gaskapazität von 200.000 l gebunden. Damit ist bei der Festlegung der vorzuhaltenden Gasmenge die Kapazitätsbindung bei Kleinverbrauchern zu ergänzen. Im Worst Case könnte ein Ringtausch dieser Flaschen unter Einbindung der Flaschenreserve erwogen werden, um Bereiche mit hohem Verbrauch nachzubestücken.

Durch die systematische technische und organisatorische Vorbereitung [12], die Verfügbarkeit von Führungskräften vor Ort [19] sowie die Gemeinschaftsleistung und das Engagement aller Mitarbeitenden sind keine unerwarteten Ereignisse eingetreten. Das Aufrufen des Krankenhausalarm- und Krankenhauseinsatzplans mit vollständiger Vorhaltung der Krankenhauseinsatzleitung [11, 24, 25] für eine solche Maßnahme muss dem Nutzen gegenübergestellt werden. Im Sinne der Stabsfunktionen nach Feuerwehrdienst-

vorschrift (DV 100 [26]) war lageangepasst ein verkleinerter Stab mit den zusammengelegten Funktionen Lage (S2) und Einsatz (S3) durch den Katastrophenschutzbeauftragten vor Ort vertreten. Die Stabsfunktionen Personal (S1) und Logistik (S4) wurden durch die diensthabende Pflegedienstleitung abgebildet und hätten lageelastisch weiter entfaltet werden können [5, 27]. Unabhängig davon kann ein solches Szenario je nach Erfahrungsgrad des jeweiligen Krankenhauses mit stabsmäßiger Führung genutzt werden, um die Einsatzerfahrung der Klinikeinsatzleitung zu fördern [5, 24, 25].

Entscheidend für die technische Planung ist das Wissen um die kompletten Gaslaufpläne. Bereits in der Planungsphase von Krankenhausgebäuden ist dafür zu sorgen, dass genügend Abspermmöglichkeiten in alle Infrastrukturnetze (Gase; Wasser, Elektrizität usw.) integriert werden. Unbekannte, nicht in Bauplänen verzeichnete Ventile oder Einspeisungen können dazu führen, dass ein redundanter Zufluss verhindert, dass Drucklosigkeit eines Sys-

tems für Umbaumaßnahmen hergestellt werden kann. Andererseits hätten bauseits verfügbare Gasabsperrentile analog dem Ventil A0 (Abb. 1) zwischen den Gebäudeteilen 2 und 3 bzw. zwischen 3 und 4 eine Abwicklung der Umschlussmaßnahme mit nur einem Drittel der betroffenen Patientenbereiche ermöglicht. In diesem Sinne kann die fehlende Einplanung dieser beiden Absperrentile als latente Fehlermöglichkeit, die sich erst Jahrzehnte später auswirkt, noch aus der Bauplanung herührend interpretiert werden [9, 13].

## Vorbeugendes Risikomanagement

Fehlerbegünstigte Faktoren, die vor der Durchführung der Gasumstellung im Rahmen des Risiko- und Patientensicherheitsmanagements betrachtet werden mussten, sind in Tab. 3 aufgeführt. Zentraler Punkt ist die 100%ige Gewährleistung der Patientensicherheit, trotz fehlender vergleichbarer Erfahrungen oder publizierter Berichte. Der planbare Charakter der Maßnahme mit potenzieller Auswirkung auf

	unbedeutend	gering	spürbar	kritisch	katastrophal
häufig	P1, P2, I6, O14	I1, A5	V1, V2		
möglich	A1	O6	O4, V8	O2, O5, T3	O1, O3, T6
selten			O7, T1, T2	O8, O9, O10, O11, V3	
sehr selten		V9	I3, K5	I2, V7, T4	V6
unwahrscheinlich		I4	I5	A2, A3, A4, A6, A7, V10, T5, K1, K2	P3, P4, O12, O13, V4, V5, V11, V12, K3, K4, K6

**Abb. 4** ▲ Risikolandschaft und Gefährdungsanalyse zur Interimgasversorgung Legende/Beschreibung der Einzelrisiken: ■ **Abb. 5**. Farben grün – gelb – rot aufsteigende Risikopriorität. (Nach Euteneier et al. [8])

Funktionalität und nachfolgend die Kapazität des Krankenhauses [1] erhöht den Druck auf eine fehlerfreie Durchführung. Allgemeine Erfahrungswerte aus Anästhesie und Intensivmedizin können auf mögliche Gefahrenquellen hinweisen.

Finanzielle Grenzen dürfen die Patientensicherheit nicht einschränken, werden aber durch die Organisation selbst gesetzt. Im vorliegenden Fall waren Kostenaspekte in der personellen und materiellen Ausstattung des Projekts nicht relevant. Um allerdings die Risiken zu minimieren, ist die Maßnahme in kürzester möglicher Zeit zu realisieren. Aufgrund paralleler Anwesenheit steigen zwar die Personalkosten, gleichzeitig reduzieren sich aber der Bedarf an Flaschengas mit entsprechender Logistik und die Planungsunsicherheit in der Bemessung des Bedarfs. Diese Intervallverkürzung zwingt zur technisch bestens vorbereiteten Durchführung des Umbauprozesses.

Unvollständige oder nichtverständliche Protokolle können ebenso Fehler begünstigen. Die unzureichende Kommunikation zwischen den verschiedenen Berufsgruppen (medizinisches Personal, interne und externe Techniker) kann zu Informationsverlusten führen; gelingende Kommunikation ist ein Schlüsselfaktor zur Fehlervermeidung in hochkomplexen Systemen [7]. Effektives Nachfragen und Wiederholen des Gesagten sind für ein gleiches Verständnis der Prozessschritte besonders hilfreich [28]. Besonders medizinische Mitarbeitende ohne Leitungsfunktion müssen

in die bevorstehenden Maßnahmen eingewiesen und bei deren Umsetzung unterstützt werden [4, 9]. Vor allem Beobachtungen an medizintechnischen Geräten oder gar von Zustandsveränderungen der Patienten während der Umbaumaßnahme müssen schnellstens an das ärztliche Personal kommuniziert werden. Wenn der Verdacht des Zusammenhangs mit der Umbaumaßnahme besteht, muss die Projektleitung umgehend informiert werden, um Abhilfe zu schaffen [19].

Ebenso sollten jene Mitarbeitenden Unsicherheiten ohne Ängste der Zurückweisung mitteilen können [9, 16]. Eine weitere Herausforderung ist die Zusammenarbeit mit dem Personal eines externen Dienstleisters, das die Umbaumaßnahmen vornimmt. Dieses kennt die baulichen und klinikorganisatorischen Strukturen nicht in dem Maße wie das interne Personal, weshalb eine sehr enge Absprache notwendig ist. Eine Zusammenfassung der Risikofaktoren zeigt das Ishikawa-Diagramm (■ **Abb. 3**).

Ein Ishikawa-Diagramm ist zwar gut geeignet, um Risikofaktoren darzustellen, nicht aber, um diese zu quantifizieren. Quantitative Aspekte kann eine Risikolandschaft (■ **Abb. 4**) gut visualisieren [8]. Die zugrunde liegende Bewertung ist zwar im Organisationskontext immer auch in gewisser Weise variabel und subjektiv, erlaubt aber dennoch eine Gewichtung, welchen Risiken in besonderer Weise begegnet werden muss. Auf die Berechnung der hieraus abgeleiteten Risikoprioritäten-

zahl (RPZ) wurde im vorliegenden Kontext bewusst verzichtet, da der dritte Faktor, die Detektionswahrscheinlichkeit (D) neben der beschriebenen Eintrittswahrscheinlichkeit (W) und dem Schadenausmaß (A) für alle in der Projektgruppe bereits detektierten Risiken (■ **Abb. 5**) als konstant anzunehmen ist. Nichtdetektierte Risiken dieser Maßnahme konnten entsprechend auch nicht bewertet werden.

$$RPZ = W \cdot A \cdot D$$

(Maximal  $10 \cdot 10 \cdot 10 = 1000$ , mindestens  $1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$ , [8]).

Entsprechend der Bewertung der erkannten Risiken ist insbesondere denjenigen in der rechten oberen Ecke von ■ **Abb. 4** (rot) entgegenzuwirken. Hier mussten zuvorderst die fehlerhafte Gas-mengenplanung (O1), fehlende Gasvorrhaltung (O3) und eine unzureichende Führung (T6) bei der Bewältigungsplanung in den Fokus genommen werden.

## Risikomanagement am Beispiel

Das Beispiel der Umbaumaßnahmen des Gasversorgungssystems von Intensivstationen konnte deutliche Fehlerquellen aufzeigen. Die Ergebnisse des Gasverbrauches haben gezeigt, dass vorab anhand physiologischer Größen mit 10 l/min und Bettplatz zu wenig Gas bemessen wurde. Wären anstatt der 9 – wenngleich ausgesprochen unwahrscheinlich – tatsächlich 22 Patienten beatmet worden, hätte auf die Reserve zurückgegriffen werden müssen (■ **Tab. 1 und 2**), um in den Abschnitten E2 und E3 je eine Druckluftflasche zu wechseln. Die Dauer der Umbauarbeiten wurde auf 3 bis 4 h geschätzt. Bei einem mittleren Verhältnis von Druckluft zu Sauerstoff von 1 zu 1 wurde ein Gasbedarf von 52.800 l geschätzt. Mit einem 10fachen Sicherheitspuffer wurden insgesamt 550.000 l Gas in Flaschen vor Ort zur Verfügung gestellt, einschließlich der Möglichkeit der zeitgerechten Nachlieferung bei absehbarer Verknappung. Insgesamt wurde an 9 Beatmungsplätzen 27.500 l Gas in 2 h Umbauphase verbraucht. Bei der gegebenen Belegung wäre eine Durchhaltefähigkeit von 12 h gewährleistet gewesen, mit Ringtausch der Flaschen der Kleinverbraucher von 33 h.



<b>Patientenfaktoren</b>		<b>Individuelle Faktoren</b>	
P1	Schwerstkranke Patienten	I1	Ereignisbetrieb für Mitarbeiter ungewohnt
P2	hohe Krankheits- und Behandlungskomplexität	I2	mangelnde Fertigkeiten der Techniker beim Umbau
P3	Patientenschaden einzeln	I3	mangelnde Fertigkeiten der Techniker an Einspeisungspunkten
P4	Patientenschaden global	I4	Probleme durch Techniker in fremder Umgebung
<b>Organisation und Management</b>		I5	Probleme durch Stationspflege ohne Führungs- bzw. Prozessverantwortung
O1	Planungsbasis, Einzelgasverbrauch pro Patient unzureichend	I6	Fehlende Detailkenntnis der Mitarbeiter bezüglich der Gasversorgung im Haus
O2	längere Dauer der Maßnahme als vorgesehen	<b>Arbeitsumfeld</b>	
O3	Gasflaschen für Interimsbetrieb fehlen	A1	Ärzte und Pflege, Alarmierung durch (zu) sensibles ICU-Monitoring
O4	Informationsdefizit	A2	Gasflaschen für Interimsbetrieb defekt
O5	Unbekannt, ob Baudokumentation vollständig	A3	Überdurchschnittliche Personalbindung bei parallelem MANV
O6	unbekanntes Gasvolumen der Anlage	A4	Überdurchschnittlicher Gasverbrauch bei parallelem MANV
O7	fehlende Kommunikation des Umstieges auf Ereignisbetrieb und Rückfall in Normalbetrieb	A5	Ungünstige bauliche Beschaffenheit
O8	Lückenhafte Prozessbeschreibung	A6	Ausfall der Gas-Ringleitung
O9	Fehlende Rückfallebenen	A7	Blackout, Wasser, techn. Havarie
O10	Ausfall der Meldekette	<b>Teamfaktoren</b>	
O11	Personalbedarf nicht gedeckt	T1	unzureichende Zusammenarbeit medizinisches und technisches Personal
O12	Verlust der Arbeitsanweisung	T2	unzureichende Zusammenarbeit mit externen Technikern
O13	Verlust des Kommunikationsplans	T3	unzureichende Protokollkenntnisse
O14	Keine Vollentfaltung der Klinik-Einsatzleitung	T4	unzureichende Einweisung der Mitarbeiter/Akteure
<b>Verfahren &amp; Aufgaben</b>		T5	Konflikte der Akteure
V1	Erstmalige Umsetzung	T6	Führungsdefizit
V2	Keine Erfahrungswerte aus Literatur	<b>Kontext &amp; Institutionen</b>	
V3	Fehlende technische Einbauteile vor Ort für Umschluss	K1	unzureichende Zusammenarbeit mit externem Ingenieurbüro
V4	Protokoll fehlt bzw. unvollständig	K2	unzureichende Kommunikation zwischen externen und internen Kräften
V5	Protokoll nicht kommuniziert	K3	Finanzielle Limits
V6	Ausfall der Logistikkette für Gas	K4	Ausfall der Beatmungsgeräte
V7	Ausfall einer einzelnen Gaseinspeisung	K5	DECT Kommunikationsausfall
V8	kein Zugang zu Ventilen	K6	Brand/ Explosion durch Löt- bzw. Schweißarbeiten
V9	kein Zugang zu Verteilern		
V10	Flaschenwechsel unmöglich		
V11	Ausfall aller Interimgaseinspeisungen		
V12	Beschädigung des zentralen Ventils mit Folge des Kaltstarts des Interimsbetriebes und großflächigerer Gasabschaltung		

**Abb. 5** ◀ Ausdifferenzierung der Risikofaktoren, Gliederung gemäß London-Protokoll (Beispiele). DECT Digital Enhanced Cordless Telecommunications, ICU Intensive Care Unit, MANV Massenanfall von Schwerverletzten

Weiterhin hätten fertigkeitsbasierte Fehler auftreten können, wenn eine hohe Arbeitsbelastung bzw. Überforderung bei Ausführen der Aufgabe entstanden wäre. Dies passiert u.a., wenn Mitarbeitende unter zeitlichem Druck stehen. Treten unerwartete Probleme in Form von technischen Hindernissen auf, kann Hektik bei der Arbeit ausbrechen. Im Fall der Deckenöffnung zu einer Gasleitung kam es zeitlich vor dem „Point of no return“ tatsächlich zur Umbauverzögerung, die sich lange hingezogen haben könnte. Der

Fehler konnte schnell behoben werden, ist jedoch im Vorfeld der Planung einzubeziehen. Auch ärztliche und pflegerische Mitarbeitende können aufgrund verschiedener Einflussfaktoren den Überblick bei der Kontrolle der Patienten mit Umstellung der Gasversorgung verlieren. Ein unerwartet hoher Zustrom neuer Patienten, viele Zustandsverschlechterungen zu gleicher Zeit und das Auftreten eines unerwarteten Massenanfalls von Verletzten, der eine hohe Zahl der Ärzte und Pflegekräfte, aber auch der Führungspersonen bindet

und Intensivbetten einfordert, sind einige Beispiele hierfür [1, 5]. Vorab wurde mit anderen Intensivbereichen abgestimmt, dass im Notfall eine Verlegung auf diese Stationen möglich ist. Ebenso hätten sog. Aussetzer entstehen können, wenn den Akteuren wichtige Informationen zum Ablauf oder zum Bauplan verloren gegangen wären. Hierzu gab es aber ein klares, allen ausgehändigtes Protokoll, einen Kommunikationsplan (Tab. 2) und jederzeit Ansprechpartner vor Ort.

### Krankenhaus-Bauplanung

- ☐ Ausreichend Absperr-/Einspeisungsmöglichkeiten für Medien vorsehen (z.B. Elektrizität, Wasser, Gase)
- ☐ Gute Zugänglichkeit zu den Absperr-/Einspeisungs-/Bedienelementen planen

### In Krankenhausalarm- und Kranenhouseinsatzplan (KH-AEP) integrieren

- ☐ Szenario Medienausfall (z.B. Elektrizität, Wasser, Gase)
- ☐ Zugriff auf Gebäudepläne mit Absperr-/Einspeisungspunkten und sonstigen Bedienelementen
- ☐ Vorhaltung von Material zum überbrückenden Ersatz/Einspeisung
- ☐ Szenario „geplanter Ereignisbetrieb“ z.B. für Umbaumaßnahmen mit Einwirkung auf die Krankenhausfunktionalität mit Abwägung zum notwendigen Entfaltungsgrad der Klinik-Einsatzleitung und Einbeziehung der Rettungsleitstelle

### Geplanter Ereignisbetrieb Gasabschaltung

- ☐ Zusammenstellung einer interprofessionellen Gruppe mit Verankerung in der Krankenhausadministration, ggf. Verstärkung im KH-AEP auch für Ad-hoc-Lagen hilfreich
- ☐ Schnittstellenidentifikation und -analyse
- ☐ Risikoidentifikation und -analyse
- ☐ Entwicklung einer Bewältigungsstrategie u.a.:

#### Planungsphase

- Erstellung einer Choreografie mit detaillierten Aufgabenzuweisungen für alle Akteure und Betroffenen
- Kommunikationsplan mit Definition von Verantwortlichkeiten
- Kommunikation des Projekts und Einweisung aller Akteure und Betroffenen
- Bedarfsberechnung: tatsächlicher Gasverbrauch mehr als doppelt so hoch wie anhand der Einstellungen am Beatmungsgerät + Geräte-Betriebsverbrauch kalkuliert
- Großzügige Einplanung von Gaspufferkapazität bei unbekanntem Systemvolumen des Gasnetzes
- Berücksichtigung von Groß- und Kleinverbrauchern bei der Flaschenzuteilung
- Einplanen einer Personalreserve (z.B. während der Übergabezeiten)
- Terminierung außerhalb des Routinebetriebs
- Rückfallebenen zur Verbringung der Beatmungspatienten: Transportbeatmungsgeräte und Zielstationen
- Für die technische Maßnahme: Bereithaltung von Einbauteilen vor Ort in allen infrage kommenden Größen/Varianten
- Melderkonzept für Telefonieausfall mitdenken

#### Umsetzungsphase vor Point of no Return

- Nochmaliges Briefing aller Akteure und Betroffenen
- Kommunikationsprobe entsprechend Kommunikationsplan
- Zugang schaffen zu den Absperr-/Einspeisungs-/Bedienelementen
- Schrittweise Abschaltung der Steigleitungen, wenn GO von allen Unterabschnitten vorliegt

#### Nachbereitungsphase

- Debriefing mit den Akteuren und Betroffenen
- Kommunikation der Lessons learned
- Anpassung des KH-AEP (bedarfsweise)

### Regelmäßig prüfen (z.B. im Rahmen der Brandschutz-/Sicherheitsbegehung)

- ☐ Zugänglichkeit der einzelnen Bedienelemente auch unter Wand- oder Deckenverkleidungen
- ☐ Leichtgängigkeit von Absperrhähnen und Ventilen

**Abb. 6** ◀ Lessons learned/Checkliste

Unabhängig von einer technischen Maßnahme ist es im Rahmen der Resilienzbildung für Systemausfälle in der kritischen Infrastruktur Krankenhaus [3, 11, 20] letztlich auch wichtig, dem Personal solche Erkenntnisse zu kommunizieren. Vielfach fehlt das Wissen darüber, wie die Sauerstoffversorgung eines Krankenhauses erfolgt, und wo technische Grenzen

liegen. ■ **Abb. 6** fasst die gewonnenen Erfahrungen in einer Checkliste zusammen.

#### Fazit für die Praxis

- Umbaumaßnahmen an der Gasversorgung einer Intensivstation erzeugen einen hohen organisatorischen Aufwand und bedürfen der detaillierten Vorausplanung

unter Einbeziehung verschiedenster Experten.

- Oberstes Ziel ist, eine Patientengefährdung auszuschließen. Dies gelingt durch effektive Kommunikation aller beteiligten Personen und Berufsgruppen sowie durch Nutzung von Methoden des Projekt- und Risikomanagements.
- Vor der Maßnahme muss analysiert werden, welche Zwischenfälle bis hin zum

Worst-Case-Szenario eintreten können und durch welche Rückfallebenen ihnen begegnet werden kann.

- Beispielsweise ist für die Vorhersage der benötigten Gasmengen eine alleinige Berechnung des Verbrauchs durch die Beatmung der Patienten nicht ausreichend. Vielmehr müssen u. a. das Füllungsvolumen von Gasleitungen in wenig genutzten Gebäudeteilen und die Kapazitätsbindung von Gasvolumina in den großen Flaschen der Kleinverbraucher mitberücksichtigt werden, da diese zur Versorgung der Beatmungspatienten primär nicht zur Verfügung stehen.

#### Korrespondenzadresse

**Prof. Dr. Axel R. Heller**

Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Augsburg  
Stenglinstraße 2, 86156 Augsburg, Deutschland  
Axel.Heller@uk-augsburg.de

**Danksagung.** Die Autoren danken allen Technikern, Ärzten und Pflegekräften, die zur erfolgreichen Umsetzung des Projekts beigetragen haben, Frau Dr. Kathleen Juncken und Herrn Dr. Henryk Pich für die Unterstützung bei der Manuskripterstellung sowie Herrn Dr. Tobias Neidel und Herrn Dr. Marc-Michael Ventzke für die inhaltliche Diskussion.

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

#### Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** Axel R. Heller, Maria Eberlein-Gonska, Hanns C. Held und Thea Koch geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

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 beifügen 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 Ma-

## Systematic risk management for a planned gas shutdown in the high-care facility of a university hospital

**Background:** In the course of building extension works at Dresden University Hospital, it was necessary to shut down the central medical gas supply in a building with 3 intensive care wards with 22 beds, an operating theater tract with 5 operating rooms and 6 normal wards each with 28 beds during ongoing services. Thus, for the construction phase there was a need to establish an interim decentralized gas supply with zero failure tolerance for the affected functional units.

**Methods:** Following established procedures for possible risk and failure analysis, a project group was set up by the hospital's emergency and disaster management officer to develop a project plan, a needs assessment and a communication plan.

**Results:** A variety of risk factors were systematically identified for which appropriate countermeasures needed to be designed. The needs assessment over 4 h based on physiological parameters for the maximum available 22 ventilator beds resulted in 26,000 l of oxygen and 26,000 l of compressed air. A total of 7 supply points were each equipped with two 50 l cylinders for both oxygen and compressed air, with a total availability of 175,000 l of each of the 2 gases. Another eight cylinders each were held in reserve. The project was carried out on a Saturday without an elective surgery program, so that the operating rooms concerned could be closed. The timing was chosen so that double staffing of intensive care personnel was available during the afternoon shift change. In advance, as many of the patients on mechanical ventilation as possible were transferred within the hospital; however, nine of the mechanically ventilated patients had to remain. The technical intervention in the gas supply lasted only 2 h without affecting the patient's condition. During the 2-h interim supply, 16,500 l of compressed air and 8000 l of oxygen were consumed on the high-care wards. The calculated hourly consumption per ventilated patient was 917 l of air (15 l/min) and 444 l of oxygen (7 l/min). The quantity framework based on empirical values from intensive care medicine was significantly lower. This was more than compensated for by the 10-fold stocking of gas and the predictably lower number of ventilated patients than the maximum occupancy used as a basis.

**Conclusion:** For technical interventions in high-risk areas, careful planning and execution in an effective team is required. Established procedures of project management and risk assessment help to avoid errors.

#### Keywords

Hospital emergency plan · Mechanical ventilation · Intensive care · Oxygen · Compressed air

terials 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. Wurmb T, Reichenbach P, Scholtes K (2017) Hospital emergency plan: the consequence-based model. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 112(7):618–621
2. Albrecht DM, Reichmann H, Töpfer A, Silbermann S, Maertins A (2017) Ökonomischer und nicht-ökonomischer Nutzen des Universitätsklinikums und der Medizinischen Fakultät Dresden. In: *Handbuch Changemanagement im Krankenhaus*. Springer, Berlin Heidelberg, S 105–119
3. Heller AR (2011) Be prepared!: hospital planning for major public events. *Dtsch Arztebl Int* 108(28–29):481–482
4. Donchin Y, Gopher D, Olin M, Badihi Y, Biesky M, Sprung CL et al (2003) A look into the nature and causes of human errors in the intensive care unit. *BMJ Qual Saf* 12(2):143–147
5. Heller AR, Juncken K (2020) Primärversorgung in der Zentralen Notaufnahme. *Anasth Intensivmed* 61:164–176
6. Töpfer A, Sobottka SB, Heller AR (2017) Anwendungsbeispiele für Null-Fehler-Qualität im Krankenhaus: Optimierung der OP-Planung und der Wechselzeiten durch Six Sigma. In: *Handbuch Changemanagement im Krankenhaus*. Springer, Berlin Heidelberg, S 833–852
7. Rochlin GI, La Porte TR, Roberts KH (1987) The self-designing high-reliability organization: Aircraft carrier flight operations at sea. *Nav War Coll Rev* 40(4):76–92
8. Euteneier A, Chop I, Eberlein-Gonska M (2015) Analyse- und Reportingwerkzeuge. In: Euteneier A (Hrsg) *Handbuch Klinisches Risikomanagement: Grundlagen, Konzepte, Lösungen – medizinisch, ökonomisch, juristisch*. Springer, Berlin, Heidelberg, S 557–616 [https://doi.org/10.1007/978-3-662-45150-2\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45150-2_33)

9. Juncken K, Heller AR (2018) Methoden des Risiko- und Patientensicherheitsmanagements in der Intensivmedizin. In: Kluge S, Marx G, Janssens U, Zacharowski K (Hrsg) Management in der Intensivmedizin: Führung, Organisation, Planung und Steuerung. MWV, S 299–306
10. Töpfer A, Leffler P (2017) Prozess des Krisenmanagements und Grundsätze der Krisenkommunikation. In: Handbuch Changemanagement im Krankenhaus. Springer, Berlin Heidelberg, S 989–1005
11. Wurmb T, Kerner T, Geldner G, Schälte G, Heller AR, Hossfeld B et al (2019) Bewältigung von Krisen oder Katastrophen im Krankenhaus: die Rolle der Anästhesiologie. Anästh Intensivmed 60:389–393. <https://doi.org/10.19224/ai2019.389>
12. Taylor-Adams S, Vincent C, Street P (2007) Systemanalyse klinischer Zwischenfälle Das London-Protokoll. Stiftung für Patientensicherheit der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften. Schweizerische Akademie der Medizinischen Wissenschaften, Basel
13. Rall M, Manser T, Guggenberger H, Gaba DM, Unertl K (2002) Patientensicherheit und Fehler in der Medizin. Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 36(06):321–330
14. Andel D, Markstaller K, Andel H (2017) Conflict matrix : risk management tool in the operating room. Anaesthesist 66(5):318–324
15. Lazarovici M, Trentzsch H, Prückner S (2017) Human Factors in der Medizin. Anaesthesist 66(1):63–80
16. Eisold C, Heller AR (2016) Risk management in anesthesia and critical care medicine. Anaesthesist 65(6):473–488
17. Weick KE, Sutcliffe KM (2017) Das Unerwartete managen: wie Unternehmen aus Extremsituationen lernen. Schäffer-Poeschel
18. (2015) Evita 4 Intensivtherapie-Ventilator Gebrauchsanweisung Software 4.n [Internet]. Drägerwerk AG & Co. KGaA. [https://www.draeger.com/Library/Content/IfU\\_Evita\\_4\\_SW\\_4.n\\_EN\\_9039485.pdf](https://www.draeger.com/Library/Content/IfU_Evita_4_SW_4.n_EN_9039485.pdf). Zugriffen: 4. Aug. 2022
19. Heller AR, Müller MP (2008) Kommunikation bei Großschadensereignissen. Führung und Teamarbeit in kritischen Situationen. Verlag für Polizeiwissenschaft, Frankfurt/Main, S 133–153
20. Ventzke M-M, Segitz O (2020) Wenn das Krankenhaus selber Hilfe braucht–Interne Gefahrenlagen werden selten berücksichtigt. Unfallchirurg 123(6):423–423
21. Schneider L, Simon T, von Frankenberg M, Büchler M (2017) Das Heidelberger Modell: Ganzheitliches Management im Wettbewerbsumfeld. In: Handbuch Changemanagement im Krankenhaus. Springer, Berlin Heidelberg, S 99–103
22. Juncken K, Heller AR (2019) Patientensicherheitskultur. In: Medizinische Einsatzteams. Springer, Berlin, Heidelberg, S 47–56
23. Koch T, Töpfer A, Heller AR (2017) Team Management im Krankenhaus für eine Lernkultur. In: Handbuch Changemanagement im Krankenhaus. Springer, Berlin Heidelberg, S 587–608
24. Scholtes K (2022) Krankenhauseinsatzleitungen–Stabsarbeit im Krankenhaus. In: Handbuch Stabsarbeit. Springer, Berlin Heidelberg, S 81–89
25. Wurmb T, Scholtes K, Kolibay F, Schorscher N, Ertl G, Ernestus R-I et al (2020) Hospital preparedness for mass critical care during SARS-CoV-2 pandemic. Crit Care 24(1):386
26. Dienstvorschrift 100-Führung und Leitung im Einsatz. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe; 1999.
27. Muller M, Bergmann B, Koch T, Heller A (2005) Dynamic decision making in emergency medicine.

Example of paraplegia after a traffic accident. Anaesthesist 54(8):781–786

28. Heller AR, Müller MP (2015) Weiterbildung und Kompetenzvermittlung in der Intensivmedizin. In: Die Intensivmedizin. Springer, Berlin Heidelberg, S 127–138

## Ankündigung



### Münchner Workshop „Kindernotfälle“ gemäß DIVI-Curriculum 20./21.10.2023

Die Behandlung von akuten lebensbedrohlichen Notfällen im Säuglings- und Kindesalter stellt immer wieder eine immense Herausforderung dar. Die Situationen sind selten und erfordern häufig in kurzer Zeit viele Therapieentscheidungen. Im 2-Tages-Seminar „Kindernotfälle gem. DIVI“ werden deshalb häufige Kindernotfälle sowie deren Erstversorgung näher erörtert. Kurzen Impulsvorträgen vermitteln zu den wichtigsten Notfällen im Kindesalter alltagsrelevante Informationen. Diese werden anschließend in Workshops Kleingruppen unter der Anleitung erfahrener Tutor\*Innen umgesetzt. Der Kurs richtet sich an alle in der Erstversorgung lebensbedrohlicher Notfälle tätigen Kolleginnen und Kollegen aus Klinik und Rettungsdienst

**Veranstalter:** Kinderklinik und Kinderpoliklinik im Dr. von Haunerschen Kinderspital der LMU München

**Teilnahmegebühr:** (inkl. Verpflegung und Buch „Kindernotfall-ABC“) - **610 €** bei Anmeldung bis 31.08.2023 und **650 €** bei Anmeldung ab 01.09.2022

**Veranstaltungsort:** Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM), Schillerstr. 53, 80336 München

**Anmeldung:** Online-Anmeldung und Programm unter COCS GmbH, München (siehe QR-Code)



[www.cocs.de/veranstaltungen-und-kongresse](http://www.cocs.de/veranstaltungen-und-kongresse)