

Vergleich von offenen vs. geschlossenen invasiven Druckaufnehmersystemen im Rahmen des Patient Blood Management

Eine Übersichtsarbeit zu Technik, Outcome, Patientensicherheit und zur Wirtschaftlichkeit

Zusammenfassung

Im Anästhesiebereich und auf der Intensivstation kommen regelmäßig invasive Druckaufnehmersysteme zur Anwendung. Gegenüber offenen Systemen weisen geschlossene Druckaufnehmersysteme verschiedene Vorteile auf. Die Verwendung geschlossener Systeme zur Blutentnahme reduziert das Risiko für nosokomiale Infektionen, unnötigen Blutverlust, arterielle Fehlinjektionen und Kontaminationen des Klinikpersonals. Neben den medizinischen Vorteilen sind geschlossene Druckaufnehmersysteme trotz der teilweise höheren Materialkosten unter Berücksichtigung relevanter Faktoren (höherer Materialverbrauch bei Blutentnahme, höhere Personalbindung, unnötiger Blutverlust) am Ende sogar günstiger als offene Systeme.

Summary

Closed-loop, invasive pressure monitoring devices are well established both in intensive care units and operating theatres. Compared to open systems, closed systems show clear advantages. Closed systems decrease the risk of nosocomial infections, unnecessary blood loss, accidental applications of drugs into the arterial line and contamination with patient blood. Thus, the medical benefits are obvious. Despite higher material costs, closed blood collecting systems are cost-efficient considering all relevant factors (blood loss, higher costs for material to collect blood, staff-related efforts).

Comparison of open and closed, invasive pressure monitoring devices in Patient Blood Management – review of engineering, outcome, patient safety and economic viability

S. Westphal¹ · K. Zacharowski¹ · A. Kudraschow² · C. Kempf¹ · P. Meybohm¹

Einsatz und Technik von invasiven Druckaufnehmersystemen

Grundsätzlich werden invasive Druckaufnehmersysteme zur Umwandlung jeglicher Drücke am Ende eines mit Flüssigkeit gefüllten Katheters in ein elektrisches Signal benötigt. Überwiegend werden mit solchen Systemen jedoch intravasale Drücke, beispielsweise der arterielle Blutdruck und der zentrale Venendruck, gemessen. Invasive Drucksysteme erlauben mit einer ‚Beat-to-beat‘-Analyse eine genauere Überwachung des arteriellen Drucks als eine nicht-invasive Blutdruckmessung und kommen daher insbesondere bei kritisch kranken Patienten auf der Intensivstation und bei Risikopatienten im perioperativen Bereich zum Einsatz. Zusätzliche Parameter eines invasiven arteriellen Messverfahrens sind je nach Kathetertyp Herzfrequenz, Schlagvolumen, Herzzeitvolumen und/oder Volumenstatus des Patienten. Des Weiteren können jederzeit Blutgasproben entnommen werden. Typische Risiken von invasiven (arteriellen) Druckmesssystemen ergeben sich im Wesentlichen durch die Punktion des Gefäßes; insbesondere lokale Hämatome, Blutungen, Infektionen sowie kritische Perfusionsstörungen (je nach Kathetertyp bis zu 1%) [1].

Neben der Kopplung mit vaskulären Kathetern kommen invasive Druckaufnehmersystemen darüber hinaus beispielsweise zur Messung des Liquordrucks, des Blasendrucks oder des intraabdominellen Drucks zum Einsatz.

- 1 Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie, Universitätsklinikum Frankfurt/Main (Direktor: Prof. Dr. Dr. K. Zacharowski, FRCA)
- 2 Dezernat 3, Zentraler Einkauf, Universitätsklinikum Frankfurt/Main

Schlüsselwörter

Druckaufnehmersysteme – Kosten – Blutverlust

Keywords

Pressure Monitoring Devices – Costs – Blood Loss

Technisch erfolgt die Umwandlung des Drucksignals mittels eines Widerstandsmanometers. Dabei können prinzipiell vier Bauarten unterschieden werden. Beim Induktionsmanometer wird durch Auslenkungen der Membran innerhalb einer Spule ein Eisenkern verschoben und die induzierte Spannung gemessen. Das Kapazitätsmanometer misst eine Veränderung der Kapazität des Kondensators, welcher Bestandteil der Druckmembran ist. Manometer, die auf dem Piezoeffekt basieren, messen Spannungsänderungen bei Zug- und Druckbelastungen zwischen zwei aus bestimmten Quarzkristallen bestehenden gegenüberliegenden Flächen. Halbleiterdruckelemente messen eine Widerstandsänderung bei Längenänderungen. Letztgenannte Systeme finden aufgrund ihrer kleinen Bauform häufig Anwendung in Einmalprodukten [2].

Medizinischer Nutzen der geschlossenen Druckaufnehmersysteme

Invasive Druckaufnehmersysteme können prinzipiell „offen“ oder „geschlossen“ konzipiert sein. Im Rahmen einer Blutentnahme erfolgen bei **offenen Systemen** immer erst die offene Aspiration, der Verwurf der im Katheter/Drucksystem stehenden Spüllösung, eine offene

Blutentnahme sowie eine anschließende offene Spülung des Katheters.

Gegenüber offenen Systemen zeigen **geschlossene Systeme** (Abb. 1) hingegen folgende technische und medizinische Vorteile auf:

Kontaminationsfreie Blutentnahme

Konventionelle Dreivegehähne der offenen Systeme sind grundsätzlich Eintrittspforten für Mikroorganismen und stellen somit ein Risiko für nosokomiale Infektionen dar. So konnte in einer klinischen Untersuchung gezeigt werden, dass die Anzahl der bakteriellen Kontaminationen nach arterieller Blutentnahme am geschlossenen System signifikant geringer war als am offenen System mit Dreivegehahn [3]. Problematisch bei offenen Systemen sind insbesondere Blutreste am Seitport des Dreivegehahns, die sich auch durch intensive Spülungen nicht vollständig entfernen lassen. Geschlossene Systeme hingegen minimieren das Risiko nosokomialer Infektionen. Insofern empfiehlt die Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) des Robert Koch-Instituts in ihrer aktuellen Empfehlung aus dem Jahr 2017 ausdrücklich die Verwendung von geschlossenen Systemen zur arteriellen Blutdruckmessung und Blutentnahme [4].

In einer prospektiv, randomisierten Studie mit 216 Patienten mit einem

arteriellen Katheter zeigte sich, dass geschlossene Systeme im Vergleich zu offenen Systemen signifikant weniger mikrobielle Kontaminationen der intraluminalen Flüssigkeit aufwiesen [5]. Dies betrifft prinzipiell sowohl die intraluminalen als auch die externe Kontamination des Abnahmeports.

Die Verwendung offener Dreivegehähne bei zentralvenösen Kathetern bringt ebenso hygienische Herausforderungen mit sich. Der Austausch des konventionellen Dreivegehahns durch einen desinfizierbaren nadellosen Konnektor am Ende eines zentralen Venenkatheters kann die Inzidenz von Katheter-assoziierten Infektionen relevant reduzieren [6].

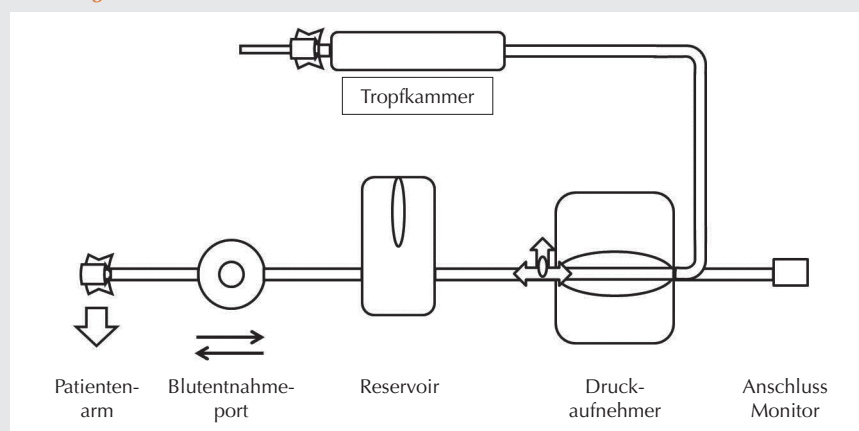
Reduktion unnötiger Blutverluste durch Blutverwurf

Bei Blutentnahmen am Dreivegehahn offener Systeme ist das initiale Aspirat eine Mischung aus Spüllösung und verdünntem Blut, so dass je nach Totraumvolumen 3-10 ml verworfen werden müssen. Häufige Blutentnahmen führen aufgrund des Blutverwurfes beim offenen System damit zu einem signifikanten Blutverlust und kumulativen Hämoglobin-Abfall [7,8], was vor allem bei Intensivpatienten Bluttransfusionen erforderlich macht. Neben zusätzlichen Kosten ist eine Fremdbluttransfusion mengenabhängig auch mit gesundheitlichen Risiken (u.a. erhöhte Morbidität, erhöhtes Risiko für ischämische Ereignisse, erhöhtes Risiko für nosokomiale Infektionen und Immunmodulation) sowie vielen weiteren Komplikationen und ihren wirtschaftlichen Konsequenzen assoziiert [9-21].

Geschlossene Systeme hingegen verfügen über ein Reservoir für die initiale Aspiration des verdünnten Blutes aus dem Katheter-/Leitungssystem. Mit Hilfe des Reservoirs kann das verdünnte Mischblut kontaminationsfrei „geparkt“ und nach Beendigung der Blutentnahme dem Patienten geschlossen – vollständig ohne Erythrozytenverlust – reinfundiert werden.

Im OP-Bereich werden die Arme des Patienten teilweise an den Körper ange-

Abbildung 1



Schematische Darstellung eines geschlossenen Druckaufnehmersystems. Distales patientenfernes Reservoir für die Blutaspiration mit patientennah vorgeschaltetem Blutentnahmeport. Spülung erfolgt über Entleerung des Reservoirs mit anschließender interner Spülung.

lagert, so dass bei arteriellen Zugängen der Abnahmeport weiter proximal liegt und das Totraumvolumen zum Patienten somit größer wird. Speziell für diesen perioperativen Einsatz verfügen einige geschlossene Druckaufnehmersysteme über ein größeres, proximales Reservoir, wohingegen für die Blutentnahme auf der Intensivstation in der Regel ein kleineres, weiter distal gelegenes Reservoir ausreichend ist.

Eine retrospektive Studie mit 250 Intensivpatienten vor und nach Einführung eines geschlossenen Druckaufnehmersystems kam zu dem Ergebnis, dass durch die Einführung des Systems eine signifikante Reduktion der Bluttransfusionsrate und ein höherer Hämoglobinswert bei Entlassung von der Intensivstation erreicht werden konnten [22]. Eine randomisierte Studie mit 1.657 Patienten wies bei Verwendung eines geschlossenen Systems zudem eine signifikante Reduktion des Blutverwurfs von 69 ml auf 35 ml pro Tag nach [23]. Die Implementierung eines sog. „Blood Saving Bundles“, bestehend aus geschlossenen arteriellen Druckaufnehmersystemen kombiniert mit einem verminderten Volumen der Blutgasanalyseröhrchen, einer Reduktion des Volumens der Standard-Blutentnahmeröhrchen von 5,5 auf 2,7 ml und einer Fokussierung des Monitorings der Oxygenierung und Ventilation auf Pulsoxymetrie und Kapnographie, konnte den durchschnittlichen Blutverlust pro Intensivstationstag von 43 ml auf 15 ml dramatisch senken. Dabei hatte das geschlossene arterielle Druckaufnehmersystem den größten Anteil an dieser Reduktion. Darüber hinaus reduzierte sich interessanterweise die durchschnittliche Verweildauer auf der Intensivstation von 13 auf 10 Tage [24]. Im Rahmen des am Universitätsklinikum Frankfurt initiierten Patient Blood Management (PBM) werden geschlossene, blutsparende Druckaufnehmersysteme als PBM-Maßnahme empfohlen, um unnötige Blutverluste und damit den Bedarf an unnötigen Bluttransfusionen zu minimieren [25,26]. Daneben können weitere Maßnahmen im Rahmen des PBM [27,28] sowie die an vielen Kliniken eingeführten PBM-/Anämie-Sprech-

stunden dazu beitragen, mögliche Koagulopathien zu korrigieren und andere mögliche Blutungsursachen auszuschließen, um die Anämie zeitgerecht zu behandeln und somit Bluttransfusionen zu reduzieren [29].

Wegfall des manuellen offenen Spülens

Bei offenen Systemen erfolgt nach der Blutentnahme in der Regel mit einer extern aufgesetzten Spülspritze eine manuelle Spülung des Kathetersystems. Bei einem geschlossenen System ist die Spülung geschlossen, was wiederum geringere Irritationen der Gefäßinnenwand mit sich bringt.

Reduktion arterieller Fehl injektionen

Der Verzicht auf den klassischen Dreiwegehahn bei geschlossenen Systemen kann das Risiko für akzidentelle Medikamentenapplikationen über den arteriellen Zugang reduzieren [30,31].

Reduktion des Kontaminationsrisikos mit Patientenblut

Geschlossene Systeme können durch den Wegfall von offenen Dreiwegehähnen und die geschlossene Blutaspiration und Spülung prinzipiell das Risiko für Blutkontaminationen des Klinikpersonals reduzieren.

Limitation bei geschlossenen Druckaufnehmersystemen an venösen Kathetern

Einschränkungen für die Anwendung von geschlossenen Druckaufnehmersystemen an venösen Kathetern ergeben sich im klinischen Alltag bei katecholaminpflichtigen Patienten, da bei der Aspiration in das Reservoir auch bei getrennten ZVK-Schenkeln Katecholamine im Aspirat enthalten sein könnten, die bei der nachfolgenden Rückspülung dann als Bolus appliziert werden würden.

Überblick über die verschiedenen kommerziell erhältlichen geschlossenen Druckaufnehmersysteme (Auswahl)

Allen auf dem Markt vertretenen geschlossenen Druckaufnehmersystemen

mit integrierter, geschlossener Blutentnahme ist gemein, dass sie über ein distales patientenfernes Reservoir für die Blutaspiration und über ein patientennahes vorgeschaltetes System zur Blutentnahme verfügen. Dabei ist das Volumen des Reservoirs so gewählt, dass am Abnahmeport unverdünntes Blut abgenommen werden kann. Die Systeme unterscheiden sich lediglich in der technischen Ausführung der oben genannten Komponenten (Tab. 1).

Wirtschaftlichkeit der geschlossenen Druckaufnehmersysteme

Die Wirtschaftlichkeit von geschlossenen im Vergleich zu offenen Systemen soll im Folgenden im Rahmen einer sogenannten „Prozesskosten-Analyse“ näher betrachtet werden. Hierbei werden die Prozesse in ihre jeweiligen Prozessschritte zerlegt und v.a. die durchschnittlichen Kosten für Arbeit (Kostenrate pro Minute für die jeweils involvierten Arbeitskräfte*Minuten), Materialkosten (Preis*Menge) und Kosten für Leistungen Dritter pro Schritt ermittelt und schließlich aufsummiert.


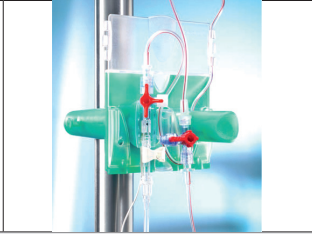

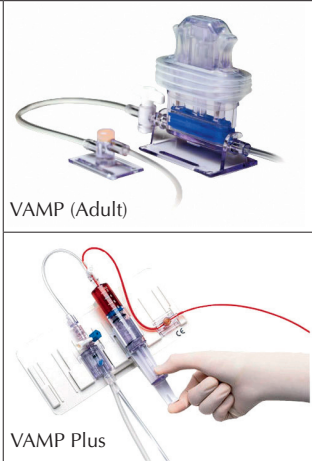

Die direkten Materialkosten eines geschlossenen Druckaufnehmersystems liegen häufig gleich hoch oder etwas höher als die Materialkosten von offenen Systemen. Diese direkten Materialkosten sind in der Regel durch den Einkauf transparent und können im Einzelfall auch den Umstieg auf ein geschlossenes Druckaufnehmersystem behindern.

Im Gegensatz dazu sind weitere Prozesskosten im klinischen Alltag schlecht zu erfassen und müssen daher als zusätzliche „versteckte Kosten“ berücksichtigt werden. Gerade bei offenen Systemen fallen für die Blutentnahme aber weitere Materialien an. Diese sind beispielsweise die zusätzlich aufgesetzte Aspirationspritze, zusätzliche Tupfer/Kompressen, zusätzliche Verschlusskappen. Ebenso können beim offenen System zusätzliche Kosten für den Wäschewechsel im Fall einer Blutkontamination durch offene Dreiwegehähne anfallen.

Außerdem muss bei offenen Systemen der unnötige irreversible kumulative

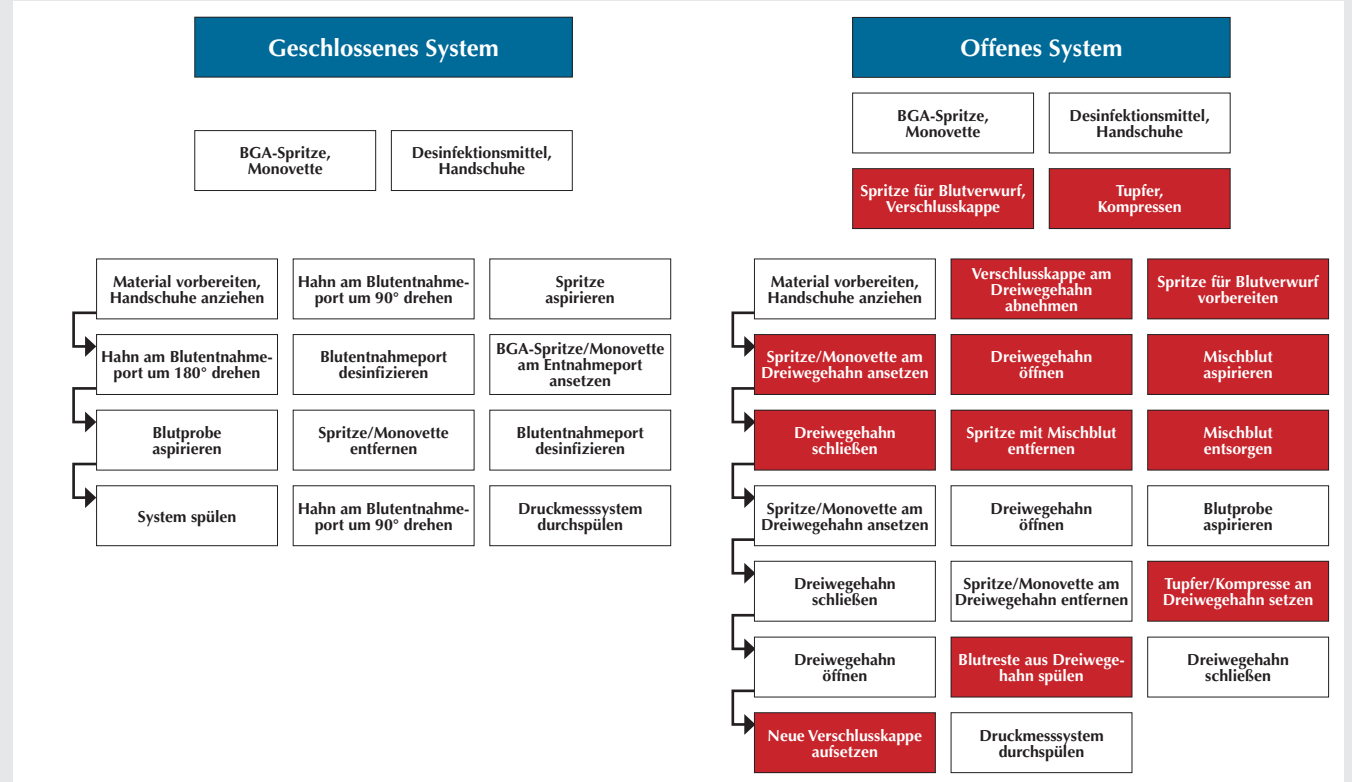
Tabelle 1

Übersicht verschiedener geschlossener Druckaufnehmersysteme (alphabetische Anordnung).

Firma, System	Aufbau, Details	
BD™/ Argon Medical Devices, Flexi-Kit, Safedraw™		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Kombinierbare, den Erfordernissen anpassbare Einzelkomponenten (wiederverwendbarer Druckwandler RT2000 und Statham Druckwandler BD P23XL™-1 und BD P10EZ™-1 sowie der Einmal-Druckwandler BD DTX/Plus™ können mit den BD Safedraw™ Monitoring-Kits zur Blutentnahme kombiniert werden) ➤ Statt Verwendung eines Dreivegehahns zur Blutentnahme weisen die Safedraw™-Systeme einen integrierten Blutentnahmeport mit geschlossenem Luer-Anschluss und Silikonmembran auf
B.Braun, Hämofix Combitrans®		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Drehbares Reservoir mit einem Arretierungsmechanismus ➤ Integrierter Federmechanismus im Reservoir für eine automatische Blutaspiration – ein Ausgasen des Blutes soll reduziert werden ➤ Einhandbedienung möglich ➤ Kombi mit dem Discifix® Blutentnahme-Hahn
Codan, Xtrans®		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reservoir mit Bakterienfilter, proximal oder distal einstellbar ➤ Zur distalen Blutentnahme ist ein spezieller Entnahmeadapter erforderlich, der die Membran des Entnahmeports durchsticht ➤ Die Kunststoffnadel im Entnahmeadapter schützt sicher vor Nadelstichverletzungen ➤ Die Membran soll Sterilität gewährleisten ➤ Verfügbare Komponenten für den Einmal- und Mehrfachgebrauch
Edwards, VAMP System, TruWave Druckwandler	 <p>VAMP (Adult)</p> <p>VAMP Plus</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mit unterschiedlich großen Reservoirs erhältlich, Z-site port oder wahlweise Luer-Anschluss zur Blutabnahme ➤ „Adult“ für die Intensivstation mit 5-ml-Reservoir ➤ „Jr“ extra kleines Reservoir von 3 ml für pädiatrische Patienten ➤ „Plus“ einhändig zu bedienen, während und nach Operationen, 12-ml-Reservoir zur proximalen oder distalen Blutgewinnung ➤ „Flex“ mit 10-ml-Reservoir für OP-Bereich und Intensivstation
Smith Medical, HemoDraw® Closed Blood Sampling System/Medex Kids Kit™ Closed Sampling System		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 13 ml distales und 5 ml proximales Reservoir ➤ Einhandbedienung möglich ➤ Speziell auch für Neugeborene und Kinder als Medex Kids Kit™ Closed Sampling System erhältlich

(Quelle: Produktinformationen der Hersteller).

Abbildung 2



Vergleich der Prozesse zur Blutentnahme bei geschlossenen und offenen Systemen.

Rot dargestellt sind zusätzliche Prozessschritte bei offenen Systemen (modifiziert nach Argon Medical Devices).

Blutverlust mit in die Gesamtkalkulation aufgenommen werden. Dieser stellt nicht nur medizinisch ein Risiko dar, sondern auch einen relevanten wirtschaftlichen Nachteil.

Kosten für Arbeit und Kosten Dritter sind bei offenen im Vergleich zu geschlossenen Druckaufnehmersystemen ebenso deutlich schwieriger zu erfassen als die reinen Materialkosten. Im Vergleich zu geschlossenen Systemen ist zur Blutentnahme mit offenen Systemen ein erhöhter Zeitaufwand für das Personal durch die o.g. zusätzlichen Arbeitsschritte erforderlich (z.B. Ansetzen der Spritze zum Entnehmen des Mischblutes, erneutes Ansetzen der Spritze zur Entnahme der Blutprobe, Freispülen des Dreiwegehahns und des Katheters). Hinzu kommt die Notwendigkeit der Entsorgung des Mischblutes als infektiöser Müll (Abb. 2).

Kosten im Zusammenhang mit dem Auftreten und dem Management von Kom-

plikationen sind ebenfalls deutlich komplexer als die reinen Materialkosten und erhöhen die Gesamt-Prozesskosten. Bei jeder medizinischen und pflegerischen Maßnahme am Patienten können verschiedene Risiken auftreten.

Zu den Hauptrisiken zählen:

- das Risiko für die mikrobielle Kontamination des Systems und dadurch verursachte nosokomiale Infektionen,
- das Risiko einer Anämie durch den Blutverlust und dadurch entstehende Zusatzkosten für die Therapie; im Fall von Transfusionen neben den zusätzlichen Kosten weitere Sicherheitsrisiken und potentielle Verschlechterung des Outcomes sowie
- das Risiko der Übertragung von Infektionen auf das Personal im Rahmen einer Blutkontamination.

In Tabelle 2 werden Kostenschätzungen eines intensivmedizinischen Patienten mit einem offenen bzw. geschlossenen

Druckaufnehmersystem gegenübergestellt. Basierend auf einer 4-tägigen Anwendung der Systeme und 40-100 Blutentnahmen (konservativ kalkuliert 10 Blutentnahmen pro 24 Stunden; inkl. Zentrallabor, BGAs, Transfusionsmedizin) innerhalb dieses Zeitraums sind geschlossene Systeme auch im Fall höherer Materialkosten durch die Ersparnisse bei Arbeitskosten und Kosten Dritter in der Gesamt-Prozesskostenanalyse letztendlich wirtschaftlich!

Das Rechenbeispiel in Tabelle 2 soll zusätzlich das Risiko nosokomialer Infektionen von offenen Druckaufnehmersystemen veranschaulichen. Werden an einem Krankenhaus beispielsweise 1.000 Systeme pro Jahr mit einer Verweildauer von 4 Tagen eingesetzt und dabei mindestens jeweils 40 Blutproben entnommen, so ergeben sich 40.000 Blutentnahmen pro Jahr. Bei offenen Systemen müssen 10 zusätzliche konta-

Tabelle 2

Kostenschätzung offenes vs. geschlossenes System bei 4 Tagen Verweildauer.

	Offenes System	Geschlossenes System
Materialkosten des Systems	Ca. 18 €	Ca. 23 €
Materialkosten Blutentnahme (40-100 Blutentnahmen in 4 Tagen)	Ca. 35-100 € (inkl. Tupfer, Komresse, Entnahmespritze, Spülspritze, Entsorgung Blutverwurf etc.)	Ca. 12-30 € (inkl. Entnahmespritze, Handschuhe, Komresse)
Zwischenbilanz	53-118 €	35-53 €
Blutverlust-assoziierte Kosten über das diagnostische Blutvolumen hinaus [§]	48-264 €	0 €
Gesamtkosten	101-382 €	35-53 €
Schätzung Einsparpotential geschlossenes System pro 4 Tage	66-329 €	

§ = pro Blutabnahme am offenen System wurde ein irreversibler Blutverlust von 3-4ml angenommen, entsprechend bei 40-100 Blutabnahmen in 4 Tagen kumulativ 120-400 ml. Das Volumen eines Erythrozytenkonzentrates (EK) schwankt zwischen 225-370 ml. Die Gesamtkosten der Verabreichung eines EK (inkl. EK, transfusionsspezifische Materialien, prätransfusionelle Basisdiagnostik etc.) betragen mindestens 147,43 € (0,40-0,66 €/ml EK) [32]. Daraus ergeben sich bei offenen Systemen zusätzliche Blutverlust-assoziierte Kosten in Höhe von 48-264 €.

minationsgefährdende Arbeitsschritte pro Blutentnahme durchgeführt werden, so dass bei offenen Systemen insgesamt 400.000 kontaminationsgefährdende Arbeitsschritte pro Jahr stattfinden. In der hypothetischen Annahme von 1 Kontamination pro 100 Arbeitsschritte und 1 systemischen Infektion pro 100 Kontaminationen würden daraus bei 1.000 offenen Systemen zusätzlich 40 Infektionen pro Jahr auftreten – mit entsprechender Erhöhung der Therapiekosten [33-35].

Fazit

Die Blutentnahme aus geschlossenen Druckaufnehmersystemen hat gegenüber offenen Systemen deutliche Vorteile: geringere Gefahr einer nosokomialen Infektion, Vermeidung arterieller Fehlinjektionen, Schonung des wertvollen Patientenbluts und damit weniger Krankenhaus-erworbene Anämien durch weniger „Verwerfen“ von Restblut. Verschiedene Firmen bieten inzwischen aufeinander abgestimmte Systeme zur sicheren Druckbestimmung und geschlossenen Blutentnahme an, die sich aber nicht grundlegend voneinander unterscheiden. Trotz der teilweise leicht höheren Materialkosten fällt die Kosten-

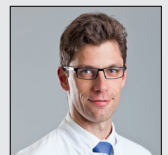
Nutzen-Schätzung nach Einbeziehung aller relevanten Faktoren eindeutig zu Gunsten der geschlossenen Systeme aus.

Literatur

- Scheer B, Perel A, Pfeiffer UJ: Clinical review: Complications and risk factors of peripheral arterial catheters used for haemodynamic monitoring in anaesthesia and intensive care medicine. *Crit Care* 2002;6:199-204
- Kehl F, Wilke H-J: In: Springer (ed). *Anästhesie. Fragen und Antworten. 1.670 Fakten für die Facharztprüfung und das Europäische Diplom (DESA)*. Berlin Heidelberg 2017
- Crow S, Conrad SA, Chaney-Rowell C, King JW: Microbial contamination of arterial infusions used for hemodynamic monitoring: a randomized trial of contamination with sampling through conventional stopcocks versus a novel closed system. *Infection control and hospital epidemiology* 1989;10:557-61
- Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz (ed). *Prävention von Infektionen, die von Großkathetern ausgehen: Teil 2 – Periphervenöse Verweilkanülen und arterielle Katheter Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2017;60:207-215
- Oto J, Nakataki E, Hata M, Tsunano Y, Okuda N, Imanaka H, et al: Comparison of bacterial contamination of blood conservation system and stopcock system arterial sampling lines used in critically ill patients. *Am J Infect Control* 2012;40:530-34
- Yebenes JC, Vidaur L, Serra-Prat M, Sirvent JM, Batlle J, Motje M, et al: Prevention of catheter-related bloodstream infection in critically ill patients using a disinfectable, needle-free connector: a randomized controlled trial. *Am J Infect Control* 2004;32:291-295
- Fischer DP, Zacharowski KD, Meybohm P: Savoring every drop – vampire or mosquito? *Crit Care* 2014;18:306
- Koch CG, Reineks EZ, Tang AS, Hixson ED, Phillips S, Sabik JF, et al: Contemporary bloodletting in cardiac surgical care. *The Annals of Thoracic Surgery* 2015;99:779-784
- Freedman J: The ONTraC Ontario program in blood conservation. *Transfusion and apheresis science: official journal of the World Apheresis Association: official journal of the European Society for Haemapheresis* 2014;50:32-36
- Leahy MF, Hofmann A, Towler S, Trentino KM, Burrows SA, Swain SG, et al: Improved outcomes and reduced costs associated with a health-system-wide patient blood management program: a retrospective observational study in four major adult tertiary-care hospitals. *Transfusion* 2017;57:1347-1358
- Vamvakas EC, Blajchman MA: Transfusion-related mortality: the ongoing risks of allogeneic blood transfusion and the available strategies for their prevention. *Blood* 2009;113:3406-3417
- Shander A, Goodnough LT: Why an alternative to blood transfusion? *Crit Care Clinics* 2009;25:261-77
- Carson JL, Terrin ML, Noveck H, Sanders DW, Chaitman BR, Rhoads GG, et al: Liberal or restrictive transfusion in high-risk patients after hip surgery. *New England J Med* 2011;365:2453-2462
- Youssef LA, Spitalnik SL: Transfusion-related immunomodulation: a reappraisal. *Curr Opin in Hematol* 2017
- Goubran H, Sheridan D, Radosovic J, Burnouf T, Seghatchian J: Transfusion-related immunomodulation and cancer. *Transfusion and apheresis science: official journal of the World Apheresis Association: official journal of the European Society for Haemapheresis* 2017;56:336-340

16. Muszynski JA, Spinella PC, Cholette JM, Acker JP, Hall MW, Juffermans NP, et al: Transfusion-related immunomodulation: review of the literature and implications for pediatric critical illness. *Transfusion* 2017;57:195-206
17. Horvath KA, Acker MA, Chang H, Bagiella E, Smith PK, Iribarne A, et al: Blood transfusion and infection after cardiac surgery. *The Annals of Thoracic Surgery* 2013;95:2194-2201
18. Rogers MAM, Blumberg N, Saint SK, Kim C, Nallamothu BK, Langa KM: Allogeneic blood transfusions explain increased mortality in women after coronary artery bypass graft surgery. *Am Heart J* 2006;152:1028-1034
19. Holst LB, Petersen MW, Haase N, Perner A, Wetterslev J: Restrictive versus liberal transfusion strategy for red blood cell transfusion: systematic review of randomised trials with meta-analysis and trial sequential analysis. *BMJ (Clinical Research Ed.)* 2015;350:h1354
20. Delaney M, Wendel S, Bercovitz RS, Cid J, Cohn C, Dunbar NM, et al: Transfusion reactions: prevention, diagnosis, and treatment. *Lancet* 2016;388:2825-2836
21. Rohde JM, Dimcheff DE, Blumberg N, Saint S, Langa KM, Kuhn L, et al: Health care-associated infection after red blood cell transfusion: a systematic review and meta-analysis. *JAMA* 2014;311:1317-1326
22. Mukhopadhyay A, Yip HS, Prabhuswamy D, Chan YH, Phua J, Lim TK, et al: The use of a blood conservation device to reduce red blood cell transfusion requirements: a before and after study. *Crit Care* 2010;14:R7
23. Gleason E, Grossman S, Campbell C: Minimizing diagnostic blood loss in critically ill patients. *American Journal of Critical Care* : an official publication, American Association of Critical-Care Nurses 1992;1:85-90
24. Riessen R, Behmenburg M, Blumenstock G, Guenon D, Enkel S, Schafer R, et al: A Simple "Blood-Saving Bundle" Reduces Diagnostic Blood Loss and the Transfusion Rate in Mechanically Ventilated Patients. *PLoS one* 2015;10:e0138879
25. Meybohm P, Herrmann E, Steinbicker AU, Wittmann M, Gruenewald M, Fischer D, et al: Patient Blood Management is Associated With a Substantial Reduction of Red Blood Cell Utilization and Safe for Patient's Outcome: A Prospective, Multicenter Cohort Study With a Noninferiority Design. *Ann Surg* 2016;264:203-211
26. Meybohm P, Richards T, Isbister J, Hofmann A, Shander A, Goodnough LT et al: Patient Blood Management Maßnahmenbündel. *Anästh Intensivmed* 2017:16-29
27. Meybohm P, Richards T, Isbister J, Hofmann A, Shander A, Goodnough LT, et al: Patient Blood Management Bundles to Facilitate Implementation. *Transfus Med Rev* 2017;31:62-71
28. Schlegel E, Biscopio J: Patient Blood Management: Vom Blutprodukt zur individuellen Therapie. *Anästh Intensivmed* 2014;55:498-509
29. Steinbicker AU, Zurheiden NJ, Bückmann A, Venherm S, Schöpfer C, Geißler GR et al: Patient Blood Management: Umsetzung im Rahmen der Anästhesiesprechstunde. *Anästh Intensivmed* 2015;56:64-74
30. Spies CD: SOPs in Anästhesiologie und Schmerztherapie: Alle relevanten Standards und Techniken für die Klinik. Akzidentelle intraarterielle Injektion. 1st ed. Thieme E-Book Kollektion Klinik & Praxis. Stuttgart [u.a.]: Thieme 2013
31. Hengesbach S (ed): Checkliste medical skills: 34 Tabellen. Checklisten der aktuellen Medizin. Stuttgart u.a.: Thieme 2013
32. Kleinerüschkamp AG, Zacharowski K, Ettwein C, Müller MM, Geisen C, Weber CF et al: Kostenanalyse eines Patient-Blood-Management-Konzepts. *Anaesthesist* 2016;65:438-448
33. Badia JM, Casey AL, Petrosillo N, Hudson PM, Mitchell SA, Crosby C: Impact of surgical site infection on healthcare costs and patient outcomes: a systematic review in six European countries. *J Hosp Infect* 2017;96:1-15
34. Rahmqvist M, Samuelsson A, Bastami S, Rutberg H: Direct health care costs and length of hospital stay related to health care-acquired infections in adult patients based on point prevalence measurements. *Am J Infect Control* 2016;44:500-506
35. Stone PW, Braccia D, Larson E: Systematic review of economic analyses of health care-associated infections. *Am J Infect Control* 2005;33:501-509.

Korrespondenz- adresse



**Prof. Dr. med.
Patrick Meybohm**

Klinik für Anästhesiologie, Intensiv-
medizin und Schmerztherapie
Universitätsklinikum Frankfurt/Main
Theodor-Stern-Kai 7
60590 Frankfurt/Main, Deutschland
E-Mail: patrick.meybohm@kgu.de