

# Die maschinelle Autotransfusion

Eine effektive Maßnahme zur Minimierung des Fremdblutbedarfes

## Zusammenfassung

Die maschinelle Autotransfusion – das Auffangen, Waschen und Retransfundieren von Wundblut – ist eine effektive Maßnahme, um den Fremdblutbedarf bei größeren Blutverlusten von > 500ml zu reduzieren. Dadurch müssen weniger Patienten den potentiellen Risiken einer Fremdbluttransfusion ausgesetzt werden, was der Patientensicherheit zugutekommt. Bei Patienten mit komplexen Antikörpern oder seltener Blutgruppe, aber auch bei solchen, die allogene Blutprodukte kategorisch, etwa aus religiösen Gründen, ablehnen, sollte die maschinelle Autotransfusion (MAT) immer als eine bluterhaltende Maßnahme Anwendung finden. Vor der Retransfusion müssen Kontraindikationen wie bakterielle oder infektiöse Kontaminationen sicher ausgeschlossen werden. Bei Eingriffen in der Herz- und Gefäßchirurgie sowie in der Orthopädie findet die MAT bereits regelhaft Anwendung. Auch in der Tumorchirurgie und der Geburtshilfe wird nach zusätzlicher Vorbehandlung des Wundblutes bereits teilweise mit autologem Blut gearbeitet, wobei der Einsatz in diesen Fachbereichen noch Gegenstand aktueller wissenschaftlicher Diskussionen ist.

## Summary

Cell salvage – collecting, washing and re-transfusing blood lost during surgery – is an effective tool to minimize the need for allogenic red blood cells in the setting of blood loss. Thereby, the number of patients exposed to potential risks of allogenic blood transfusions is reduced and patient safety is increased. For patients presenting with complex antibodies or rare blood types, or for those who refuse transfusion of allogenic RBC for religious beliefs, cell salvage represents an important blood conserving method. Before re-transfusing of salvaged blood, contraindications such as bacterial or infectious contaminations must be excluded. Cell salvaging is commonly used during cardiac and vascular surgery as well as in orthopaedics, whereas its application (with additional cleaning steps) in obstetrics and cancer surgery has been tested but is still discussed by the scientific community.

## EINLEITUNG

Zur Korrektur größerer Blutverluste wird im Rahmen operativer Eingriffe häufig direkt zum allogenen Erythrozytenkonzentrat (EK) gegriffen. Eine Fremdbluttransfusion kann jedoch mit allergischen, hämolytischen sowie nicht-hämolytischen Nebenwirkungen assoziiert sein und auch Fehltransfusionen können nicht einhundertprozentig vermieden werden. Entsprechend sollte bei jeder Indikationsstellung immer eine individuelle Risiko-Nutzen-Abschätzung stattfinden und gleichzeitig mögliche Alternativtherapien in Betracht gezogen werden<sup>1</sup>. Des Weiteren muss, insbesondere bei chirurgischen Patienten, bedacht werden, dass die Transfusion von Fremdblut immer die Übertragung einer Vielzahl fremder Zellen bedeutet. Da diese im Empfängerorganismus unweigerlich in einer Aktivierung und möglichen Belastung des ohnehin durch die Operation geschwächten Immunsystems resultiert, könnte sich ein eigentlich vermeidbares EK negativ auf die postoperative Rehabilitation auswirken.

In vielen Situationen können starke Blutverluste durch den Einsatz moderner bluterhaltender Maßnahmen „aufgefangen“ werden. Dadurch lässt sich die Transfusionsrate allogener EK senken, was automatisch die Anzahl an Patienten, die den o.g. Risiken einer Fremdbluttrans-

fusion ausgesetzt werden müssen, reduziert. In diesem Zusammenhang hat sich die maschinelle Autotransfusion (MAT), das Auffangen, Waschen und Retransfundieren von patienteneigenem Wundblut in Form eines autologen Erythrozytenkonzentrats, als besonders effektiv herausgestellt. So zeigten Meybohm und Kollegen in einer 2016 publizierten Metaanalyse von 47 prospektiv randomisierten Studien, dass die mittlere Transfusionsrate bei allen analysierten Operationen durch den Einsatz der MAT um 39 % gesenkt werden konnte; wurden nur orthopädische Eingriffe betrachtet, ergab sich sogar eine Reduktion um 57 %<sup>2</sup>! Allgemein hat die MAT ein äußerst breites Einsatzspektrum und kann sowohl intraoperativ zum Auffangen akuter Blutverluste, als auch postoperativ zum „Recycling“ austretenden Drainagebluts genutzt werden. Für Patienten, die eine schwierige Antikörperkonstellation / seltene Blutgruppe aufweisen oder Fremdblutprodukte aus religiösen Gründen ablehnen (u. a. Zeugen Jehovas), stellt die MAT eine äußerst wichtige und effektive Maßnahme dar, um auch bei größeren Eingriffen eine optimale Versorgung zu gewährleisten. Eine Anwendung der MAT bei Eingriffen mit großen erwarteten Blutverlusten sowie bei intraoperativ akut auftretenden Blutungen, wird durch die Querschnitts-Leitlinien zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaderivaten der Bundesärztekammer unter Beachtung möglicher

Kontraindikationen empfohlen (Evidenzgrad: 1C+)<sup>3</sup>. Auch im Rahmen einer umfassenden Umsetzung eines Patient Blood Management (PBM)-Behandlungskonzepts wird der Einsatz der MAT als fremdblutsparende Maßnahme gefordert<sup>4</sup>. Patient Blood Management steht für ein modernes, multidimensionales sowie interdisziplinäres medizinisches Programm zur Steigerung der Patientensicherheit durch Förderung und Schonung der patienteneigenen Blutressourcen.

Der vorliegende Artikel beschreibt den Prozess der maschinellen Autotransfusion, bespricht unterschiedliche Funktionsweisen, gibt einen Überblick über Indikationen und Kontraindikationen sowie zu beachtende Besonderheiten bei einer Anwendung in bestimmten Fachgebieten.

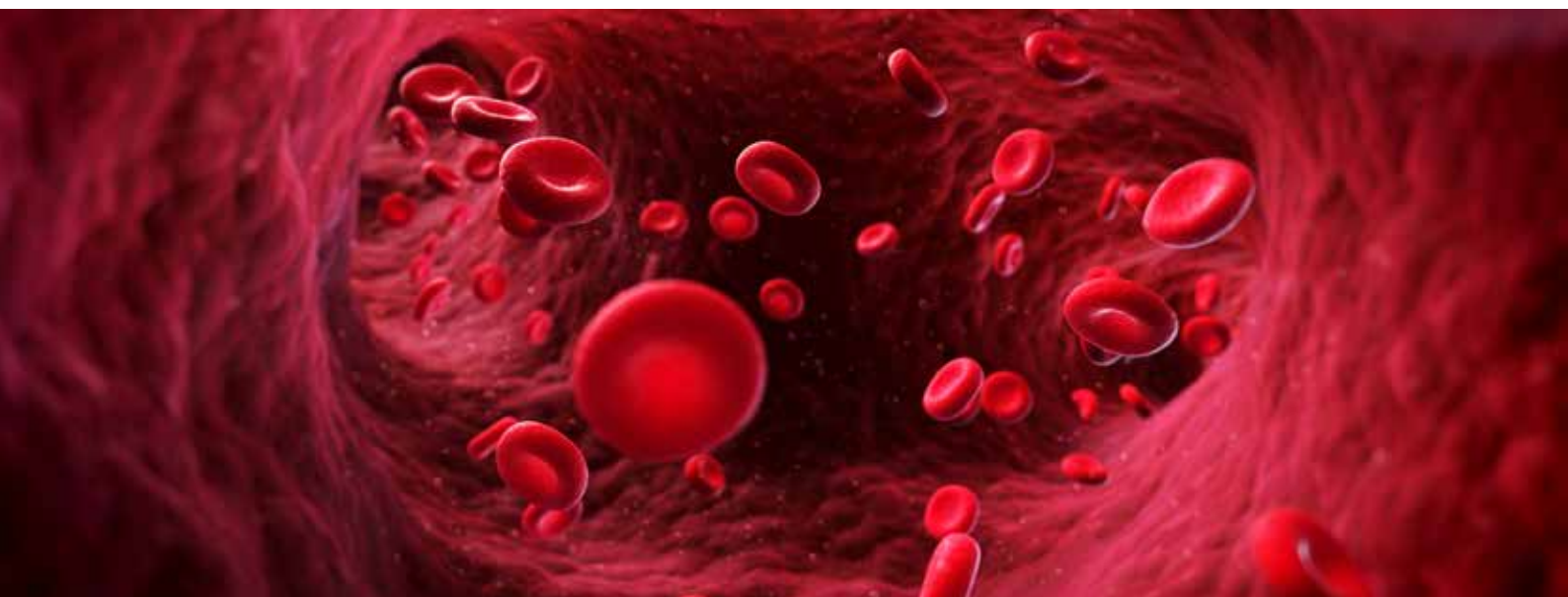
## FUNKTIONSWEISE

Der Prozess der maschinellen Autotransfusion untergliedert sich in drei Abschnitte:

### Auffangen des Wundbluts

Durch die Verwendung eines Doppel-Lumen-Schlauches ist es gleichzeitig möglich, ein Antikoagulum zur Blutverdünnung in den Absauger zu bringen und das antikoagulierte Blut vom OP-Situs abzusaugen. Für eine Optimierung des Absaugvorgangs durch Antikoagulation des Wundbluts stehen verschiedene Pharmaka zur Verfügung, wobei Heparin die häufigste Anwendung findet (25 000–30 000 E Heparin pro 1 L Kochsalzlösung). Bei Vorliegen bestimmter Komorbiditäten (z. B. heparininduzierte Thrombozytopenie Typ II), kann stattdessen die Applikation von Zitrat, Danaparoid, Lepirudin oder Argatroban indiziert sein<sup>5</sup>.

Unabhängig vom eingesetzten Antikoagulum muss vor Beginn des Absaugens ein „priming“ – ein erstes Benetzen der Oberfläche des Einmalmaterials mit dem gewählten Blutverdünner in entsprechendem Mischungsverhältnis – stattfinden. Anschließend sollte der Zufluss des Antikoagulum so reguliert werden, dass sich bei Einfließen in das Reservoir ein Verhältnis von 1:5 mit dem abgesaugten Wundblut ergibt. Am Reservoir selbst wird ein Vakuum angelegt, welches für den nötigen Sog am Schlauchende sorgt. Dabei hat sich gezeigt, dass auch ein unbegrenzter Sog (–0,6 Bar) lediglich zu einer Hämolyserate von 0,4 % führt und entsprechend nur ein geringes Risiko für den Patienten birgt<sup>6</sup>. Dem gegenüber liegen die Vorteile eines stärkeren Sogs klar auf der Hand, erlaubt dieser dem Chirurgen doch bessere „Sichtverhältnisse“ und unterstützt ihn so bei der schnellen und exakten Blutstillung. Ein Einschweben größerer Partikel (z. B. Knochensplitter, Koagel oder Gewebereste) wird durch einen dem Reservoir vorgeschalteten Filter (40–170 µm Porengröße) verhindert. Bei vielen Eingriffen genügt zunächst ein „Stand-by“-Sammeln, also das Bereitstellen von Reservoir, Sauger und Antikoagulumslösung, ohne diese direkt mit dem MAT-Gerät zu verbinden. So ermöglicht ein „Stand-by“-Sammeln Kostenersparnisse und hält trotzdem die wertvolle Ressource Blut für den akuten Notfall bereit. Wird hingegen von einem größeren Blutverlust, z. B. > 500 ml, primär ausgegangen oder bestehen akute Blutungen, kann gleich zu Anfang das System vollständig aufgebaut und sofort zur Aufbereitung von Wundblut genutzt werden. Tatsächlich wird eine präoperative Bereitstellung der MAT von einigen Autoren bereits ebenso routinemäßig gefordert, wie das präoperative Kreuzen und Testen von Erythrozytenkonzentraten<sup>7</sup>.



## Separieren & Waschen des Wundbluts

Da eine direkte Rückführung von ungewaschenem Wundblut mit hohen Risiken, u.a. Gerinnungsaktivierung oder die Einschwemmung von Zytokinen, Endotoxinen sowie anderer biologisch aktiver Substanzen, assoziiert sein kann, muss das aufgefangene Wundblut vor der Retransfusion aufbereitet werden. Dabei werden die Erythrozyten durch Zentrifugation und anschließendes Zufügen einer Waschlösung von unerwünschten Blutkomponenten (u. a. freies Hämoglobin (Hb), Thrombozyten, Leukozyten, Heparin, prokoagulatorische und fibrinolytische Substanzen sowie Zytokinen) separiert. Die Elimination von Fettbestandteilen kann durch den Einsatz bestimmter Filter (Porengröße 40 µm) oder Waschprogramme optimiert werden<sup>8,9</sup>. Bei regelrechtem Verlauf der Aufbereitung kann eine Elimination der unerwünschten Bestandteile von circa 95–99 % erwartet werden<sup>6</sup>. Für die Separation stehen unterschiedliche Systeme zu Verfügung:

### Latham-Glocke

Bei dieser Separationsmethode wird ein Teil des im Reservoir gesammelten Wundbluts zunächst in ein glockenähnliches Gefäß gepumpt. Durch anschließende Rotation (circa 6000 U/min) sammeln sich die schweren Erythrozyten an der äußeren Gefäßwand, während unerwünschte Blutkomponenten sowie weitere Stoffe aufgrund ihres geringeren Gewichtes durch das Zellsediment und die konisch sich nach oben hin verjüngende Form aufwärts wandern und ausfließen. Überschreitet das Zellsediment eine bestimmte Füllhöhe, wird der Waschvorgang eingeleitet. Dabei wird eine Waschlösung (0,9 % Kochsalzlösung) in die Glocke gepumpt, die noch übriggebliebene Reste unerwünschter Fremdkörper aufnimmt und abtransportiert.

Die Separation mittels Latham-Glocke ist ein diskontinuierlicher Prozess, wobei die Glocke beliebig oft gefüllt werden kann. Dabei muss beachtet werden, dass vor Initiation des Waschvorgangs unbedingt die herstellerseitig angegebene Füllhöhe erreicht werden muss, da Waschlösung sonst am Zellsediment vorbeifließen kann, wodurch sich Auswaschraten und -qualität maßgeblich verschlechtern können. Diese Problematik kann speziell bei der letzten Glockenfüllung auftreten. Um auch hier die benötigte Füllhöhe zu erreichen, kann es helfen, bereits gereinigtes Wundblut zuzuführen oder spezielle Waschprogramme zu nutzen. Zusätzlich sind Latham-Glocken in unterschiedlichen Größen verfügbar, wodurch potentielle Verwürfe möglichst klein gehalten werden können (55–225 ml).

### Variable volume disk (dynamic disk)

Die Aufbereitung mittels „dynamic disk“ ähnelt in ihrer Funktionsweise der Latham-Glocke und erfolgt ebenfalls diskontinuierlich. Bei diesem System befindet sich im Inneren einer rotierenden Scheibe ein elastisches Diaphragma aus Silikon, welches seine Form durch das angelegte Vakuum dynamisch der äußeren Form anpasst. Zur Separation wird keine bestimmte Füllhöhe benötigt.

Die „dynamic disk“-Methode kann pro Zyklus maximal 100 ml umsetzen und ist besonders zur Rückgewinnung langsamer Blutverluste über einen längeren Zeitraum, etwa bei postoperativen Drainagen nach orthopädischen Eingriffen, geeignet.

### Continuous autotransfusion system (CATS)

Ein kontinuierliches System, dessen Funktion auf einer doppelten, spiralförmig angeordneten, rotierenden Zentrifugationskammer basiert. Nach initialer Füllung (30ml) fließen bei jedem weiteren Zufluss von Wundblut gewaschene Erythrozyten und Verwurf getrennt ab. Das System arbeitet volumenunabhängig und erlaubt dadurch bereits bei kleineren Blutverlusten eine kontinuierliche Aufarbeitung des Wundbluts. Mit Hinblick auf die Fettelemination zeigt sich die CATS-Methode (99,8 % Elimination) gegenüber diskontinuierlich arbeitenden Systemen (69,2–92,8 % Elimination) als überlegen<sup>8</sup>.

### Retransfundieren des gewaschenen Wundbluts

Die Retransfusion der gewaschenen Erythrozyten erfolgt in einer Suspension mit Kochsalzlösung (0,9 % NaCl) und einem Hämatokrit-Wert von 50–80 %<sup>10</sup>. Die durch die Bundesärztekammer vorgegebene maximale Lagerungs-

Indikationen	Kontraindikationen
<ul style="list-style-type: none"><li>• Hoher erwarteter Blutverlust (&gt; 500ml / 10–20% des geschätzten Blutvolumens)</li><li>• Niedrige Hb-Konzentration und/oder hohes Blutungsrisiko</li><li>• Spezielle Antikörper / seltene Blutgruppe</li><li>• Ablehnung von Fremdblutprodukten (z. B. aus religiösen Gründen, etwa bei Angehörigen der Zeugen Jehovas)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bakterielle Kontamination</li><li>• Kontamination durch Urin, Darminhalt</li><li>• Kurative Tumorchirurgie mit Gefahr der Verschleppung zirkulierender Tumorzellen (ABER: eine bereits ausgeheilte Tumorerkrankung in der Vorgeschichte stellt KEINE Kontraindikation dar)</li><li>• Akute systemische Infektionen (ABER: HIV, Hepatitis, Leukämie stellen KEINE Kontraindikationen dar)</li></ul>

Tabelle 1: Allgemeine Indikationen sowie Kontraindikationen der maschinellen Autotransfusion

dauer zwischen Absaugen und Retransfusion beträgt 6 Stunden<sup>3,11</sup>. Da im Vergleich zur Fremdbluttransfusion bei Rückführung von autologem Blut ein völlig anderes Nutzen-Risiko-Verhältnis besteht, muss keine restriktive Transfusionsstrategie Anwendung finden. Können Kontraindikationen sicher ausgeschlossen werden, kann das aufbereitete Wundblut unabhängig der Hb-Konzentration zurückgeführt werden und muss nicht verworfen werden.

## ALLGEMEINE INDIKATIONEN, KONTRAINDIKATIONEN UND SPEZIELLE BESONDERHEITEN

Eine Übersicht zu den allgemeinen Indikationen und Kontraindikationen der maschinellen Autotransfusion gibt **Tabelle 1**.

### Herz- und Gefäßchirurgie

Aufgrund teils starker Blutungen, hat die MAT im Bereich der Herz- und Gefäßchirurgie großes Potential, den hohen Fremdblutbedarf zu minimieren. Tatsächlich konnte eine aktuelle Metaanalyse randomisierter, kontrollierter Studien zeigen, dass durch die Anwendung der MAT der Fremdblutbedarf bei herzchirurgischen Eingriffen um relative 29 % gesenkt werden konnte<sup>2</sup>. So müssen nicht nur weniger Patienten den potentiellen Risiken allogener EK ausgesetzt werden, gleichzeitig wurde im Zusammenhang mit dem Einsatz der MAT auch über geringere Komplikationsraten, geringere systemische Entzündungsreaktionen und weniger postoperative Infektionen berichtet<sup>6</sup>. Allgemein kann die Evidenz für den Einsatz der MAT bei herzchirurgischen Eingriffen, insbesondere bei Operationen unter Einsatz der Herz-Lungen-Maschine, als hoch beschrieben werden.

Auch bei Eingriffen in der Gefäßchirurgie kann die MAT zum Einsatz kommen. So konnten beispielsweise Takagi und Kollegen in einer Metaanalyse der Daten fünf randomisierter, kontrollierter Studien zeigen, dass der intraoperative Einsatz der MAT bei Eingriffen im Rahmen eines abdominalen Aortenaneurysmas die Wahrscheinlichkeit allogener Bluttransfusionen relevant senken kann<sup>12</sup>.

### Orthopädie

Während orthopädischer Eingriffe findet die MAT bereits häufig Anwendung. In einer randomisierten, kontrollierten Studie konnte dahingehend gezeigt werden, dass eine Anwendung der MAT, etwa bei Knie-TEP, die Fremdbluttransfusionsrate deutlich verringern (80 auf 16 %) kann<sup>13</sup>. Neben der Knie-TEP findet die MAT ebenfalls bei ande-

ren Eingriffen der Endoprothetik (z.B. Hüft-TEP), aber auch während Wechseloperationen (Knie- und Hüftversionen) sowie bei größeren Wirbelsäulenoperationen verstärkt Anwendung. Neben dem intraoperativen Einsatz kann sich in der Orthopädie auch das Auffangen, Waschen und Retransfundieren von postoperativ austretendem Drainage-Wundblut lohnen. Hier sind insbesondere Geräte, deren Separationsprozess auf Basis der „dynamic disk“-Methode funktioniert, im Einsatz. Anhand der nachgewiesenen Effektivität der MAT bei orthopädischen Eingriffen, spricht sich auch die European Society of Anaesthesiology in ihren aktuellen Leitlinien mit hohem Evidenzgrad (1A) für einen routinemäßigen Einsatz aus<sup>14</sup>.

### Tumorchirurgie

Trotz anhaltend minimal-invasiver und fortschrittlicher Operationstechniken besteht auch bei einzelnen Tumoreingriffen noch immer ein hoher Fremdblutbedarf. Da aktuelle Studien auf eine potentielle Assoziation zwischen allogenen EK und Tumorzellrezidiven hinweisen<sup>15</sup>, wird auch hier der intraoperative Einsatz der MAT „neu“ diskutiert. Die allgemeine Haltung ist jedoch noch immer reserviert, könnte doch bei kurativen Tumoreingriffen auch die Retransfusion von unbehandeltem Eigenblut mit potentiell zirkulierenden Tumorzellen zu Tumorzellrezidiven oder gar Metastasen führen. Um Tumorzellen vor der Retransfusion unschädlich zu machen, eine weitere Zellteilung zu verhindern oder diese aus dem aufgefangenen Blut zu entfernen und so letztendlich den Einsatz der MAT theoretisch zu ermöglichen, stehen folgende zwei Alternativen zur Verfügung:

### Bestrahlung

Mittels Bestrahlung des aufbereiteten Wundblutes mit 50 Gy wird die spätere Zellteilung von ggf. transfundierter Tumorzellen zuverlässig verhindert, wohingegen Erythrozyten keine Zerstörung erfahren<sup>16</sup>. Die anschließende Retransfusion wird als sicher angesehen. Bei tumorchirurgischen Eingriffen wird die Bestrahlung des autologen gewaschenen Erythrozytenkonzentrats durch die Bundesärztekammer empfohlen<sup>3,11</sup>. Dabei muss der die Indikation stellende Arzt jedoch unbedingt auch derjenige sein, der für die Retransfusion zuständig ist. Verliert er die Verfügungsgewalt über das gewonnene Eigenblut, spricht er es aus den Augen, wird das Erythrozytenkonzentrat zu einem Arzneimittel mit höheren Anforderungen und eine Herstellungserlaubnis wird benötigt<sup>11,17</sup>. Dies bedeutet wiederum, dass das EK entweder direkt im OP-Saal bestrahlt werden muss oder der (MAT-verantwortliche) Arzt das EK zur Bestrahlung begleitet.

## Leukozytendepletierende Filter

Wurde der Einsatz leukozytendepletierender Filter (LDF) zur Reduktion der Tumorzellenanzahl in aufbereitetem Wundblut in älteren Studien noch äußerst kritisch gesehen, sprechen aktuellere Studien diesen hochspezialisierten Filtern eine hohe Effektivität zu. Beispielsweise zeigt eine aktuelle systematische Übersichtsarbeit nicht nur, dass LDF die Anzahl an Tumorzellen in autologen Erythrozytenkonzentraten deutlich senken könnten, sie zeigt ebenfalls, dass unter deren Einsatz, die MAT bei Tumorpatienten nicht mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für Metastasen oder Tumorrezidiven assoziiert ist<sup>18</sup>.

Trotz dieser beiden Möglichkeiten ist die Anwendung der MAT in der Tumorchirurgie noch immer Teil wissenschaftlicher Debatten. Um die Kontamination weiter zu reduzieren, sollte es generell vermieden werden, Wundblut aus Bereichen abzusaugen, die direkt durch Tumore betroffen sind.

## Geburtshilfe

Eine Anwendung der maschinellen Autotransfusion im Bereich der Geburtshilfe wurde über die letzten Jahre umfassend erörtert. Die Gründe für den kontroversen Diskussionsverlauf sind offensichtlich: So kann es in der Geburtshilfe einerseits, etwa im Rahmen einer Sectio caesarea oder durch postpartale Blutungen, zu größeren (teilweise lebensbedrohlichen) Blutverlusten kommen, die einen hohen Fremdblutbedarf nach sich ziehen und so den Einsatz der MAT rechtfertigen würden. Andererseits ergeben sich durch die besonderen Umstände in der Geburtshilfe jedoch spezielle Risiken, die bei der Indikationsstellung unbedingt Beachtung finden müssen. Beispielsweise wurde durch eine Mischung von mütterlichem Blut und Fruchtwasser die Gefahr einer Fruchtwasserembolie nach Retransfusion diskutiert. Tatsächlich konnte aber bis heute kein Fall einer solchen nachgewiesen werden, bei der mit Sicherheit davon ausgegangen werden kann, dass dieser durch die Retransfusion autologen Blutes hervorgerufen wurde<sup>19</sup>. Ein weiteres Risiko geht von einer potentiellen Rh-Alloimmunisierung der Mutter aus, in deren Zusammenhang es zu fetalen Erythroblastose bei weiteren Schwangerschaften kommen könnte. Im Gegensatz dazu konnten Milne und Kollegen in einer retrospektiven Datenanalyse von 884 Fällen, in welchen die MAT im Rahmen starker Blutungen ohne weitere Nebenwirkungen zum Einsatz kam, zeigen, dass in 21 % der Eingriffe genug Eigenblut für eine Retransfusion gesammelt werden konnte und so nachweisen, dass eine Anwendung der MAT in der Geburtshilfe realisierbar ist<sup>20</sup>. In einer weiteren retrospektiven Studie konnte ermit-

telt werden, dass durch den Einsatz der MAT bei Sectio, das Risiko einer Fremdbluttransfusion um 48 % gesenkt werden kann<sup>21</sup>. Trotzdem wird der Einsatz aktuell häufig nur in speziellen Situationen, wie etwa einem massiven Blutverlust (z.B. schwere intra- oder postpartale Blutungen), spezieller Blutgruppen/Antikörpersituation, spezieller geburtshilflicher Herausforderungen (z.B. Plazenta praevia) oder bei nicht-vorhandenen Alternativmöglichkeiten (z.B. Zeugen Jehovas) in Erwägung gezogen.

## Kosteneffizienz

Verschiedene Studien konnten bereits zeigen, dass eine Kosteneffizienz für die MAT besteht<sup>22,23</sup>. Ausgehend von initialen Kosten, die durch die Bereitstellung der benötigten Einmalmaterialien und natürlich der initialen Anschaffung des Geräts entstehen, amortisieren sich diese mit jedem Tropfen retransfundiertem Blut. Demgegenüber summieren sich die Kosten transfundierter Fremdblutkonserven mit jedem weiteren EK.

Wenngleich medizinisch jeder „einzelne gerettete Erythrozyt“ zählt, wird in der aktuellen Literatur ein Einsatz der MAT dann als kosteneffizient erachtet, wenn das Volumen von mindestens einem Erythrozytenkonzentrat wiedergewonnen und retransfundiert werden kann<sup>24</sup>.

## Die Autoren



**Dr. rer. nat. Christoph Füllenbach**  
Klinik für Anästhesiologie, Schmerztherapie  
und Intensivmedizin  
Universitätsklinikum Frankfurt  
christoph.fuellenbach@kgu.de



**Prof. Dr. Dr. med. Kai Zacharowski**  
Klinik für Anästhesiologie, Schmerztherapie  
und Intensivmedizin  
Universitätsklinikum Frankfurt  
kai.zacharowski@kgu.de



**Prof. Dr. med. Patrick Meybohm**  
Klinik für Anästhesiologie, Schmerztherapie  
und Intensivmedizin  
Universitätsklinikum Frankfurt  
patrick.meybohm@kgu.de

Die Literaturhinweise zu diesem Artikel finden Sie im Internet zum Download unter: [www.drk-haemotherapie.de](http://www.drk-haemotherapie.de)