

Tobias Rau  
Dr. med.

## **Implementierung und Evaluierung eines Algorithmus zur automatisierten Detektion von Luftembolien mit transösophagealer Echokardiographie bei neurochirurgischen Operationen in (halb-)sitzender Lagerung – eine Pilotstudie**

Fach/Einrichtung: Anaesthesiologie  
Doktormutter: apl. Prof. Dr. sc. hum. Konstanze Plaschke

**Hintergrund:** Bei neurochirurgischen Operationen der hinteren Schädelgrube, des Kleinhirnbrückenwinkels und der dorsalen Halswirbelsäule bietet die (halb-)sitzende Lagerung der Patienten mehrere Vorteile, wie unter anderem eine bessere Übersicht über das Operationsgebiet, eine erleichterte Liquordrainage und weniger Blutverluste. Jedoch sind mit dieser Lagerung auch unterschiedliche Risiken verbunden. Vor allem Luftembolien sind hierbei aufgrund ihres potenziell letalen Verlaufs von großer Bedeutung.

Da eine Luftembolie zeitnahe therapeutische Konsequenzen erforderlich macht, ist ein intraoperatives Monitoring des Patienten wichtig. Als Goldstandard zur Detektion intraoperativer Luftembolien hat sich hierfür die transösophageale Echokardiographie (TEE) etabliert. Jedoch erfordert diese eine kontinuierliche Überwachung des TEE-Bildes durch den Anästhesisten während der gesamten Operation. Eine automatische Detektion von Luftembolien in der TEE könnte daher die klinische Routine deutlich erleichtern und einen Beitrag zur Patientensicherheit leisten.

**Ziel:** Im Rahmen dieser Dissertationsarbeit sollten verschiedene Verfahren zur automatisierten Detektion von Luftembolien entwickelt und im Rahmen einer klinischen Studie bezüglich deren Eignung untersucht werden.

**Methodik:** Basierend auf einem statistischen Modell, das Luftblasen im Ultraschallbild als statistische Ausreißer beschreibt, und auf Methoden des maschinellen Sehens wurden insgesamt fünf verschiedene Algorithmen zur automatischen Detektion von Luftembolien in TEE-Bildern entwickelt und in der Programmiersprache Python implementiert. In einem zweiten Schritt wurden diese im Rahmen einer klinischen Studie außerdem evaluiert. Hierfür wurden die intraoperativen TEE-Untersuchungen von 39 Patienten auf Video aufgezeichnet und sämtliche Zeitpunkte mit sichtbarer Luft manuell gekennzeichnet. Insgesamt wurden hierbei 155,14 Stunden Videomaterial aufgezeichnet, wovon 7,97 Stunden sichtbare Luftblasen enthalten. Die entwickelten Detektionsverfahren wurde mit dem so erstellten Goldstandard verglichen und die Vorhersagekraft der einzelnen Verfahren mit Hilfe von ROC-Kurven untersucht.

**Ergebnisse:** Insgesamt zeigte das Verfahren „StatPhase“ mit einer AUC von 0,945 das beste Ergebnis. Somit brachte die zusätzliche Berücksichtigung der Herzphase gegenüber der reinen pixelweisen Detektion statistischer Ausreißer einen deutlichen Vorteil. Weitere Ansätze, dieses Verfahren durch eine zusätzliche Kompensation von Bild-Verschiebungen („StatPhaseFeature“) oder durch die zusätzliche Berücksichtigung der Differenzen der Grauwerte von aufeinanderfolgenden Bildern („StatPhaseDiffFrame“) zu verbessern, konnten keine eindeutigen Vorteile bringen. Jedoch war das Verfahren „StatPhaseDiffFrame“ für Sensitivitäten unterhalb von 86,4 % dem Verfahren „StatPhase“ leicht überlegen.

Ein weiteres alternatives Detektionsverfahren, das die Differenzen der Grauwerte aufeinanderfolgender Bilder mit morphologischen Kriterien kombiniert („Contour“), erzielte ebenfalls schlechtere Ergebnisse als das Verfahren „StatPhase“.

Durch die Analyse von Fehlalarmen und eine erneute Durchsicht der aufgezeichneten TEE-Videos wurden insgesamt 56 intraoperativ primär nicht bemerkte Luftembolien entdeckt. Diese waren jedoch nur von kurzer Dauer oder enthielten nur intermittierend kurze Phasen mit einem kontinuierlichen Fluss an Luftblasen.

Die ermittelte Inzidenz für intraoperative Luftembolien lag mit 72 % (55 - 85 %) im oberen Bereich der in der Literatur angegebenen Werte. Mögliche Erklärungen hierfür sind unter anderem die hohe Sensitivität der TEE zur Detektion von Luftembolien sowie die Berücksichtigung nachträglich entdeckter Luftembolien durch eine zusätzliche doppelte Begutachtung der aufgezeichneten TEE-Videos und eine Analyse falsch-positiver Alarme.

**Fazit für die klinische Anwendung:** Diese Studie hat gezeigt, dass die Erkennung von Luftembolien durch die Detektion von pixelweisen statistischen Ausreißern unter Berücksichtigung der Herzphase grundsätzlich möglich ist. Das Verfahren „StatPhase“ könnte somit prinzipiell bereits jetzt eine Unterstützung im klinischen Alltag bieten, da es zur Detektion kurzer Phasen mit sichtbarer Luft, die durch den Anästhesisten potenziell übersehen werden könnten, beitragen kann. Bei einer akzeptablen Fehlalarmrate ist durch dieses Verfahren jedoch nur eine Detektion größerer sichtbarer Luftmengen möglich. Daher sollte vor einem Einsatz in der klinischen Routine das Verfahren noch weiter verbessert werden, um insbesondere eine niedrigere Rate an fälschlich als Luftembolie erkannten Herzstrukturen zu erreichen. Erfolgversprechend könnten alternativ Ansätze sein, die Luftembolien zum Beispiel mit Hilfe neuronaler Netze detektieren.