

Flowbox

Fluidsimulationssystem für die Nutzung in der Gefäß- und Herzchirurgie, Kardiologie

Hintergrund

In den vergangenen 10 Jahren verzeichnete der Transkatheter-Aortenklappenersatz in Deutschland einen starken Zuwachs. Allein in den Jahren 2007 bis 2013 stiegen die Zahlen von 144 (2007) auf 9147 (2013) sehr stark an. Die für den Patienten in der Regel sehr schonende nichtinvasive Implantation der Klappenprothese mittels Katheter stellt den Mediziner mitunter vor eine Herausforderung. Die Nutzung von Ultraschall und intraoperativem Röntgen sind die vorrangige Methode zum Positionieren sowie zur Überprüfung von Sitz und Funktion der Klappe. Hierbei kann es aufgrund der patientenspezifischen anatomischen Gegebenheiten zu Einschränkungen in der visuellen Darstellung kommen.

In Zusammenarbeit mit der Klinik für Herzchirurgie am Herzzentrum Dresden wurde die Frage gestellt, wie bereits vor einem Eingriff am Patienten ein Aussage auf die zu erwartende Wirkungsweise einer Klappenprothese getroffen werden kann. Auf Grundlage dieser Überlegungen entstand in den Jahren 2015 und 2016 ein Fluidsimulationssystem zur Untersuchung der Wirkung verschiedener Aortenklappenprothesen in einer 3D-gedruckten Nachbildung der patientenspezifischen Anatomie der Aortenklappe sowie der Aorta Ascendens. Ziel der Arbeit war es, eine multifunktionale Simulationsumgebung bereitzustellen, welche die Untersuchung mittels Ultraschall und EKG erlaubt.

Die einzelnen Entwicklungsziele beinhalteten die Umsetzung folgender Anforderungen an das Fluidsimulationssystem:

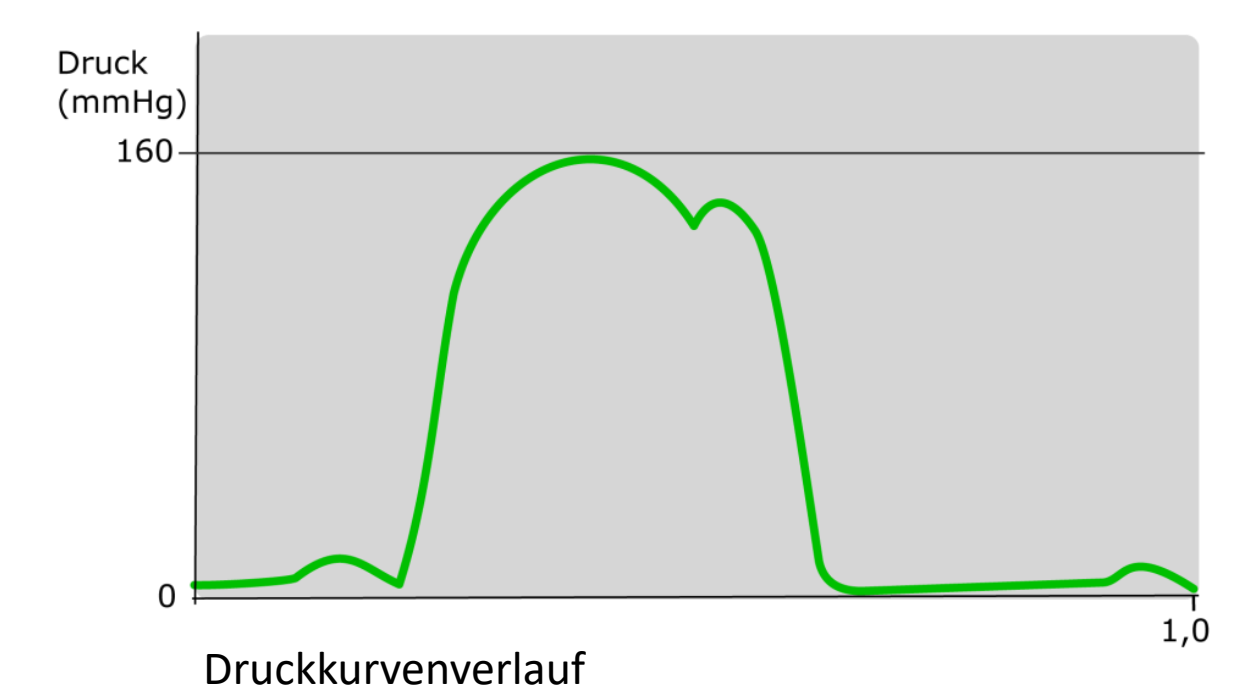
- pulsatile Pumpensystem (40 bis 80 Schläge je Minute)
- variabel einstellbarer systolischer und diastolischer Blutdruck
- variabel einstellbares Schlagvolumen bis 80 ml
- Temperierung des Fluids (28°C bis 38°C)
- variabel gestaltbarer Versuchsaufbau
- One-Box-Lösung
- einfache Bedienung



Entwicklungsergebnis:

Im Fokus stand die Entwicklung eines Microcontroller-gesteuerten Pumpensystems, welches die patientenspezifische Hämodynamik (zuvor am Patienten gemessen) genau nachbildet. Die Realisierung erfolgt in Form einer Dualpumpeneinheit, wobei eine Pumpe die Funktion des Ventrikels nachstellt. Die zweite Pumpe dient der Erzeugung eines diastolischen Gegendrucks. Beide Pumpen werden durch einen Microcontroller gesteuert. Die Bedienung als auch die Anzeige der Kennwerte erfolgt über ein integriertes TFT-Touchdisplay. Pumpe, Sensoren, Tank und Steuereinheit sind in einem Gehäuse mit stabilem Aluminiumrahmen untergebracht. Die Oberseite des Systems dient als Arbeitsfläche für den Versuchsaufbau.

Der erzeugte Fluidstrom wird in eine mittels 3D-Druck erstellte Nachbildung der patientenspezifischen Aortenklappe geleitet. Der Versuchsaufbau erlaubt die Erfassung der Strömungsverhältnisse mittels Ultraschall. Die Druckverhältnisse werden vor und nach der Aortenklappe durch Druckabnehmer (EKG) abgenommen. Eine axial im Bereich des Aortenbogens angeordnete Kamera ermöglicht eine Beobachtung der Klappendynamik.



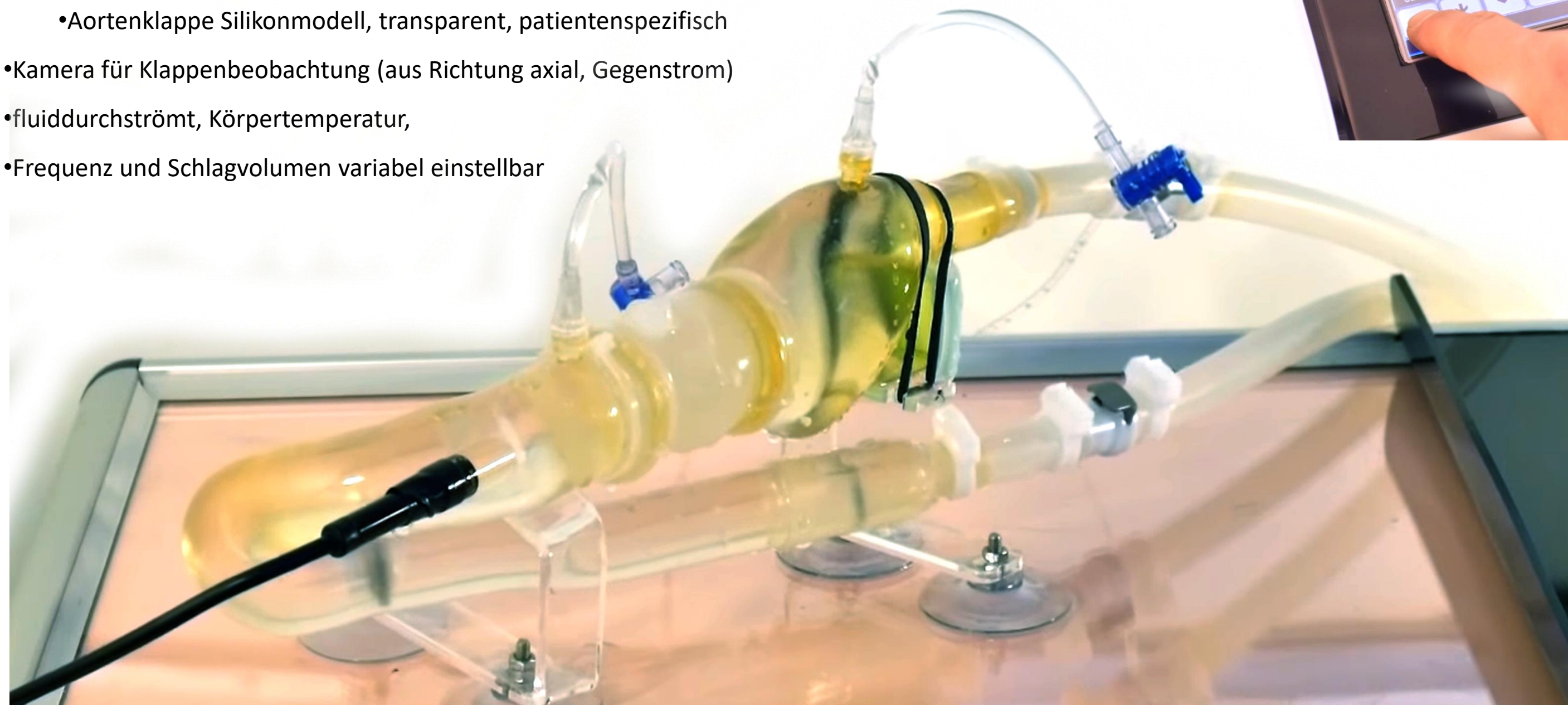
Anwendungsfall 1: Aufbau für die Implantation verschiedener Aortenklappen (TAVI)

Ziel:

Simulation verschiedener kathetergestützter Implantationen künstlicher Herzklappen

Aufbau:

- Modell patientenspezifisch (Hybrid)
 - Aortenbogen, Aorta descendens, Linker Ventrikel (Modell fester Kunststoff, transparent)
 - Aortenklappe Silikonmodell, transparent, patientenspezifisch
- Kamera für Klappenbeobachtung (aus Richtung axial, Gegenstrom)
- fluiddurchströmt, Körpertemperatur,
- Frequenz und Schlagvolumen variabel einstellbar

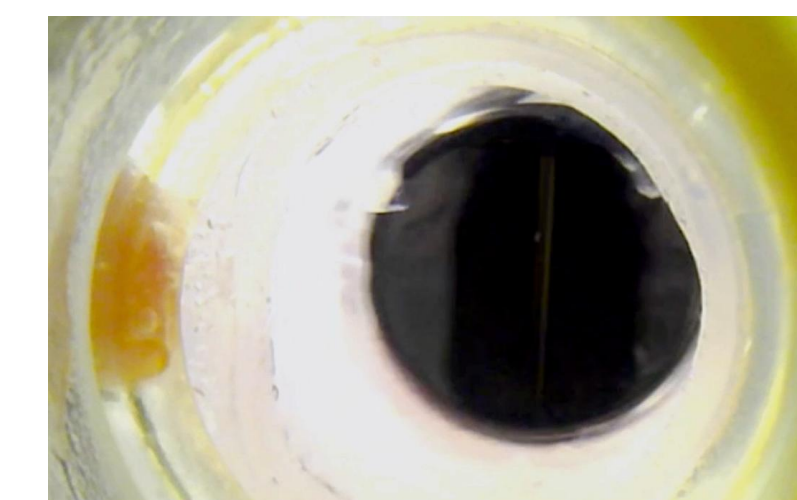


Simulation:

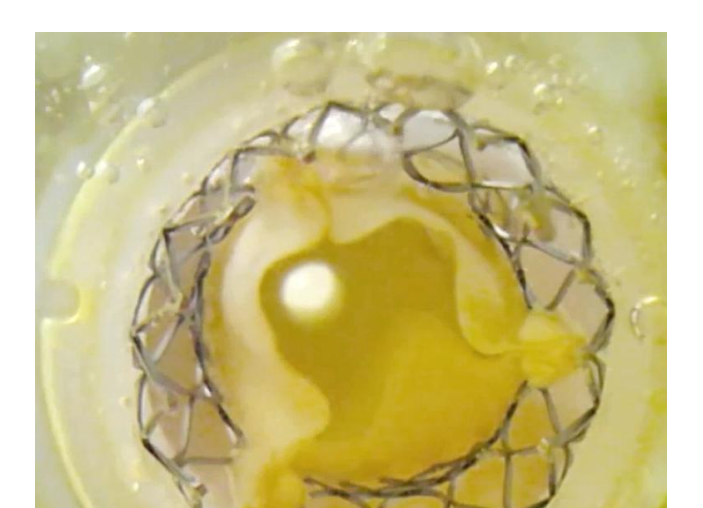
Eine Fluiduntersuchung erfolgte zunächst an der 3D-gedruckten Nachbildung der patientenspezifischen Aortenklappe. Die zuvor am Patienten abgegriffenen Werte wurden mit den im Modell gemessenen Werten verglichen. In das Aortenklappenmodell wurden anschließend verschiedene Klappenprothesen eingesetzt. Abschließend erfolgte jeweils die Untersuchung der Strömungsverhältnisse. Eine im Aortenbogen eingesetzte Kamera ermöglichte eine Beobachtung der Bewegung der einzelnen Klappenklappen während der Messung.



Silikonmodell Aortenklappe



mechanische Herzklappe (Open Pivot)



biologische Transkatheter-Herzklappe

Nutzung des Systems in der Aus- und Weiterbildung

Aufgrund der flexiblen Auslegung des Fluidsimulationssystems bietet es diverse Möglichkeiten zur Nutzung in der medizinischen Aus- und Weiterbildung im Bereich der Herz- und Gefäßchirurgie sowie der Kardiologie.

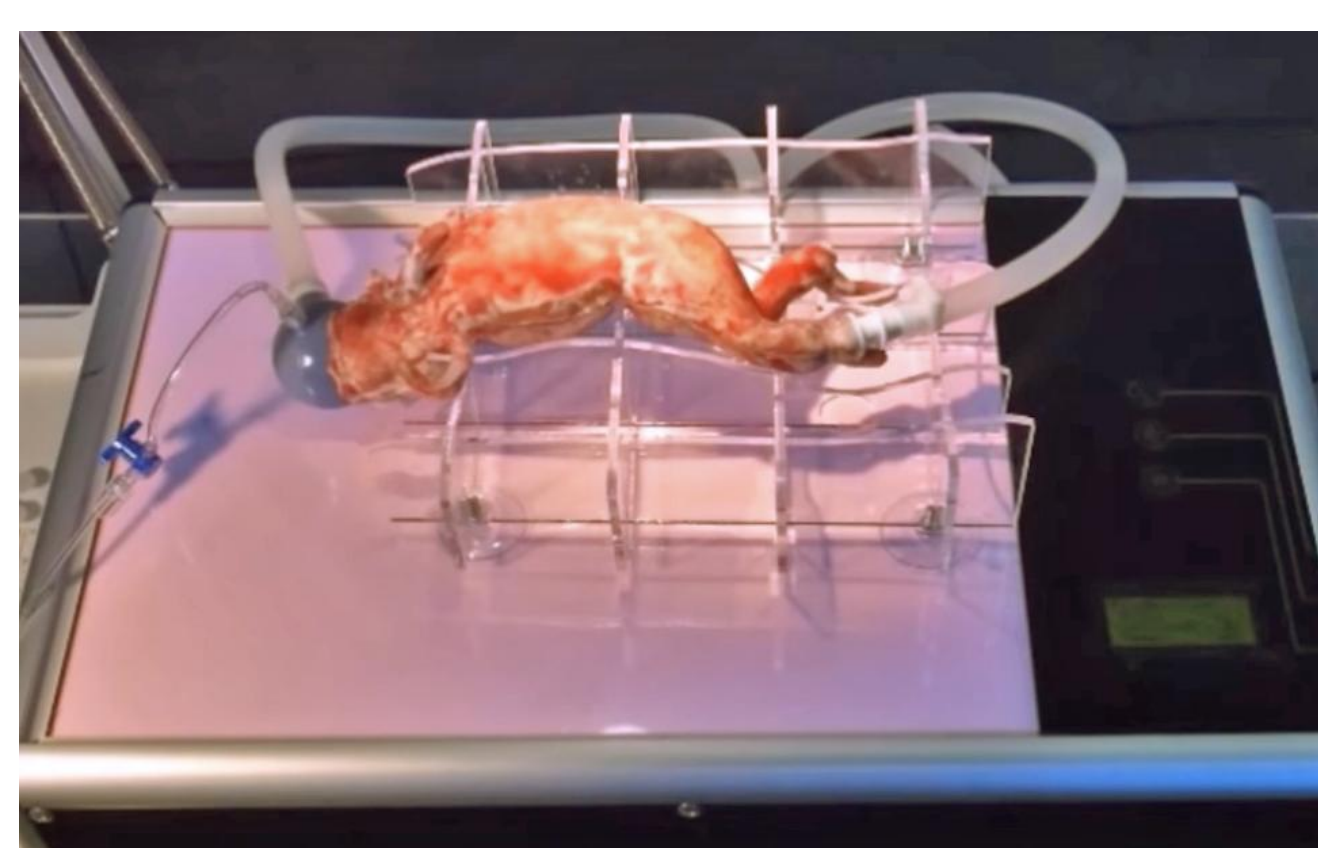
Hierbei stellt sie eine Alternative zum Training am Humanpräparat oder Tiermodell dar. Zudem bestehen keine besonderen Anforderungen an die Infrastruktur, sodass hier der Aufwand für Wetlab und Entsorgung entfallen.

Anwendungen:

- Minimalinvasives und offenchirurgisches Training
- Probeimplantation künstlicher Herzklappen, Stents und Gefäßprothesen
- Fluidsimulationen



Abdominales Aortenaneurysma



Anwendungsfall 2:

Aufbau für die kathetergestützte Freisetzung abdominalen Stentgrafts

Ziel:

Freisetzung eines abdominalen Stentgrafts in ein Aortenaneurysma auf Basis von Patientendaten

Aufbau:

- Modell in transparentem Kunststoff (hart und flexibel),
- Abdominale Aortenaneurysmen
- fluiddurchströmt, Körpertemperatur,
- Frequenz und Schlagvolumen variabel einstellbar

Simulation:

Kathetergestützte Freisetzung der Gefäßprothese

