

# Erhöhte Blutschädigung bei physiologischen Herzzyklen

## Untersuchung der Blutschädigung von Rotationsblutpumpen bei physiologischen Herzzyklen

**M. Lommel, U. Kertzsch, J. Bruening, L. Goubergrits**, Labor für Biofluidmechanik, Institut für kardiovaskuläre Computer-assistierte Medizin, Charité – Universitätsmedizin Berlin

### Kurzgefasst

- Erhöhte Blutschädigung bei physiologischen Herzzyklen
- LES Simulation über einen Herzzyklus
- Entwicklung von Schädigungsmodellen und belastungsarmen Blutpumpen

### Motivation

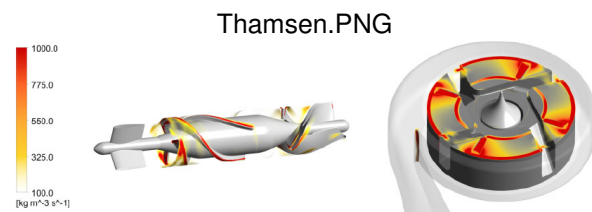
Bei Patienten mit einer terminalen Herzinsuffizienz werden heutzutage meist Rotationspumpen zur Herzunterstützung eingesetzt. Die Vorteile von Rotationspumpen sind die gute Implantierbarkeit der Pumpe durch ihre geringe Baugröße sowie die hohe Mobilität der Patienten durch die geringe Leistungsaufnahme der Pumpen. Der limitierende Faktor beim Einsatz von Rotationspumpen für Patienten in einem früheren Stadium der Herzinsuffizienz ist die hohe Zahl an Komplikationen, die ein hohes Risiko für den Patienten darstellen. Die meisten Komplikationen sind auf die Blutschädigung durch die hohen Schubspannungen innerhalb der Pumpen zurückzuführen.

Für die Entwicklung verbesserter Blutpumpen ist es wichtig die durch die Strömung verursachte Blutschädigung abzuschätzen und durch Geometrieoptimierungen zu senken. Hierfür müssen neuartige Methoden entwickelt werden das Strömungsfeld unter realitätsnahen Bedingungen zu untersuchen. In vorherigen Arbeiten im Institut wurde die Blutschädigung an den Rotationsblutpumpen HeartWare HVAD (HeartWare International, Inc., Framingham, MA, USA) und der HeartMate II (HM II; Thoratec Corp., Pleasanton, CA, USA) durchgeführt [1]. Die Simulationen wurden mit dem  $k-\omega$  shear stress Transport Modell als Turbulenzmodell und einem festen Betriebspunkt durchgeführt. Neue Veröffentlichungen zeigen, dass für eine quantitative Abschätzung der Schädigung genauere, wandnahe Vergitterungsmethoden und Turbulenzmodelle nötig sind [2]. Zusätzlich ist in Abbildung [2] zu sehen, dass die Rotationspumpen während des Herzzyklus weit außerhalb des Auslegungspunktes arbeiten und dort eine erhöhte Blutschädigung verursachen. Diese Methoden sollen für die bestehenden Pumpengeometrien umgesetzt werden und die Erkenntnisse sollen u.a. zur Entwicklung

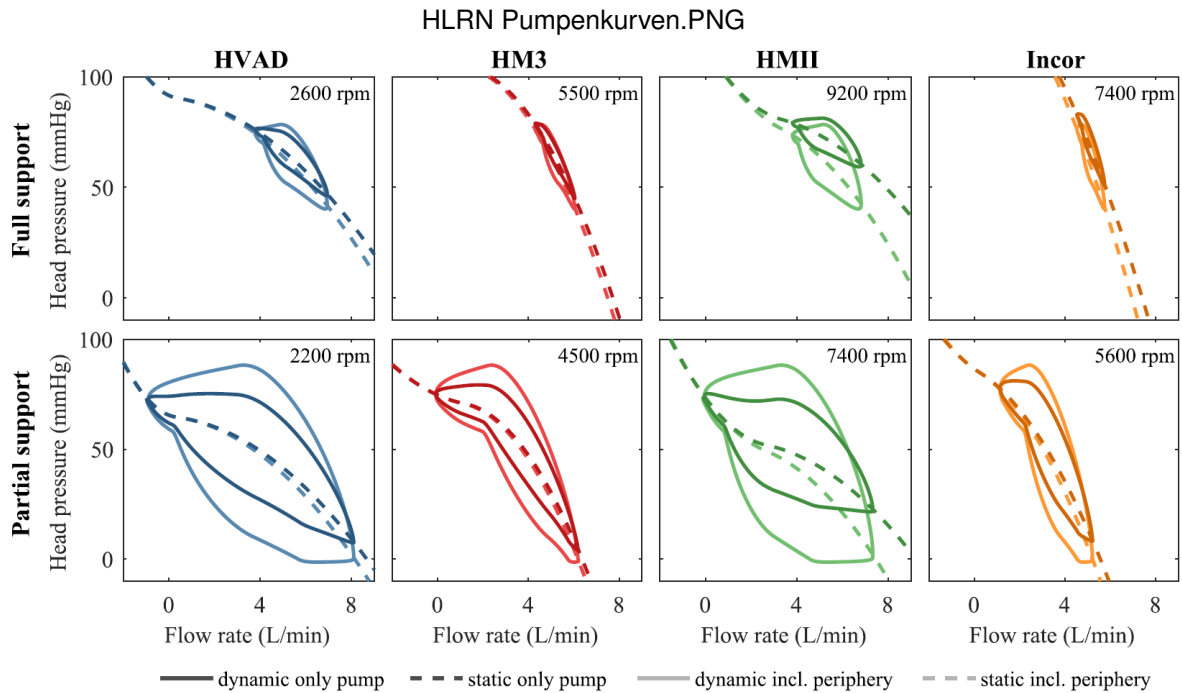
einer schädigungsarmen Kinderpumpe eingesetzt werden.

### Methoden

Im Rahmen des Großprojekts sollen die am häufigsten eingesetzten Blutpumpen mit dem Stand der Technik für Pumpensimulationen untersucht werden. Die Geometrien werden entsprechend [1] verwendet. Weiterhin soll die Blutschädigung über den gesamten Arbeitsbereich während eines Herzzyklus dynamisch untersucht werden. Bisherige Untersuchungen fokussierten sich stets auf eine quasistationäre Betrachtung, wodurch die verbleibende Pumpfunktion des Herzens ignoriert wurde. Durch diese verbleibende Pumpfunktion ändert sich der Betriebspunkt, in dem das Herzunterstützungssystem arbeitet, jedoch kontinuierlich während des gesamten Herzzyklus. Durch die extrem unterschiedliche Periodendauer eines Herzschlages, ca. 1 Sekunde in Ruhe, und einer vollständigen Rotation eines Herzunterstützungssystems, zwischen 0,01 und 0,03 Sekunden, ergibt sich ein sehr hoher Rechenaufwand. Für die Berechnung eines Herzschlages müssen somit mehr als 100 Zyklen des Herzunterstützungssystems berechnet werden. Der Zeitschritt für die Sliding Mesh Simulation der Blutpumpen wird so gewählt, dass der Rotor einen Rotationsschritt von 2-3 Grad durchführt. Dies führt zu Zeitschritten von 0,0000625s bei den typischen Drehzahlen der Pumpen. Weiterhin soll der bestehende Industriestandard, mit dem Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS)  $k-\omega$  shear stress Transport Modell als Turbulenzmodell mit dem Large Eddy Turbulenzmodell verglichen werden.



**Abbildung 1:** Regionen mit hoher Blutschädigung in der HM II (links) und HVAD-Pumpe (rechts) auf der Grundlage des Quellterms aus dem Euler'schen Modell [1]. Die Spaltbereiche sind besonders anfällig für Blutschädigung, ebenso wie die Vorderkanten der Schaufeln in der HM II und die Spiralzunge in der HVAD.



**Abbildung 2:** In der Abbildung wird der Einfluss der Restherzfunktion auf die Pumpenkennlinie dargestellt. Die Pumpenkennlinie ist gestrichelt dargestellt. Die Pumpen arbeiten nicht in einem Auslegungspunkt sondern bewegen sich auf einer Hysteresekurve um die Pumpenkennlinie herum. Die Kurven wurden in vitro mit einem hybriden Testkreislauf gemessen.[3]

### Ergebnisverwertung

Die Erkenntnisse werden in Form von Veröffentlichungen verwendet, bei dem das sinnvolle Einsatzgebiet für jede einzelne Pumpe definiert werden kann. Gerade im pädiatrischen Einsatz liegen hier derzeit keine Richtlinien vor. Mit den Vorarbeiten am HLRN wird derzeit eine Veröffentlichung angestrebt, bei der die Blutschädigung dreier Blutpumpen im Einsatz mit einer extrakorporalen Membranoxygenierung untersucht wurden. Zusätzlich soll im Forschungsprojekt PedPump (Beginn 01.01.2020, ProFIT der IBB, Europäischer Fonds für regionale Entwicklung) eine blutschonende Kinderblutpumpe entwickelt werden. Hier sollen vom Labor für Biofluidmechanik Strömungsoptimierungen abgeleitet sowie der Arbeitsbereich definiert werden. Durch die direkte Anbindung an die Klinik (DHZB) findet hier ein direkter Wissensfluss zu den Ärzten und VAD-Koordinatoren statt. Weiterhin werden die Simulationen mit in Vitro Untersuchungen an einem hybriden Testkreislauf validiert. Die Ergebnisse werden ebenfalls zur Verbesserung bestehender Anlagerungsmodelle von Blutbestandteilen verwendet.

### WWW

[https://icm.charite.de/forschung/labor\\_fuer\\_biofluidmechanik/](https://icm.charite.de/forschung/labor_fuer_biofluidmechanik/)

### Weitere Informationen

- [1] Thamsen B, Blümel B, Schaller J, Pascheireit CO, Affeld K, Goubergrits L, Kertzsch U. Numerical Analysis of Blood Damage Potential of the HeartMate II and HeartWare HVAD Rotary Blood Pumps. *Artif Organs*. 2015 Aug;39(8):651-9. doi:10.1063/1.3382344
- [2] Gross-Hardt, Sascha H.; Sonntag, Simon J.; Boehning, Fiete; Steinseifer, Ulrich, Schmitz-Rode, Thoma; Kaufmann, Tim A.S., Crucial Aspects for Using Computational Fluid Dynamics as a Predictive Evaluation Tool for Blood Pumps. *J Biomech Eng*. 2018 Nov 20. doi: 10.1115/1.4042043
- [3] Boes S, Thamsen B, Haas M, Daners MS, Meboldt M, Granegger M., Hydraulic Characterization of Implantable Rotary Blood Pumps. *IEEE Trans Biomed Eng.*,2019;66(6):1618-1627. doi: 10.1109/TBME.2018.2876840