

Steht eine Herztransplantation an, sind Patienten bis zur Operation oft auf mechanische Überbrückungshilfen angewiesen. Kleine, implantierbare Pumpen haben sich dafür etabliert. Um die Regelalgorithmen für diese künstlichen Herzen zu entwickeln, haben Forscher der Universität Queensland das menschliche Blutgefäßsystem am Rechner modelliert und mit einem Kunstherz verbunden.

Heute verfügbare pulsierende (d.h. rhythmisch pumpende) Kunstherzen haben einige schwerwiegende Nachteile. Sie verschleiben schnell (nach maximal einem Jahr), haben einen hohen Energieverbrauch und sind verhältnismäßig groß, so dass sie sich nur bei ca. 75% der Männer, bei deutlich weniger Frauen und überhaupt nicht bei Kindern einsetzen lassen. Im Vergleich zu pulsierenden Pumpen haben Rotationspumpen, die bauartbedingt für einen gleichförmigen Blutfluss sorgen, mehrere Vorteile: Sie sind kleiner, haltbarer und energieeffizienter. Daher setzen Forscher die Rotationspumpentechnologie für die Entwicklung neuer Kunstherzen ein. Damit künstliche

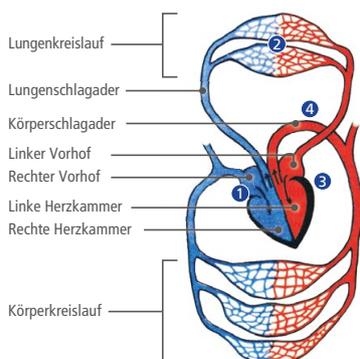
Herzen ihre Pumpleistung an den sich ändernden Blutbedarf des Organismus anpassen können, zum Beispiel bei sportlichen Aktivitäten oder beim Schlafen, benötigen die Entwickler eine leistungsstarke Testumgebung, die das menschliche Gefäßsystem in allen Situationen imitieren kann.

#### Virtuelle Blutgefäße am Rechner

Um das menschliche Gefäßsystem mit seinen Eigenschaften möglichst originalgetreu im Labor nachzubilden, hat man bisher Aufbauten aus Schläuchen, Rohren, Ventilen und Druckgefäßen benutzt. Die vielen hydraulischen und mechanischen Komponenten machen solche Aufbauten allerdings kompliziert und unflexibel. Daher sind die Forscher

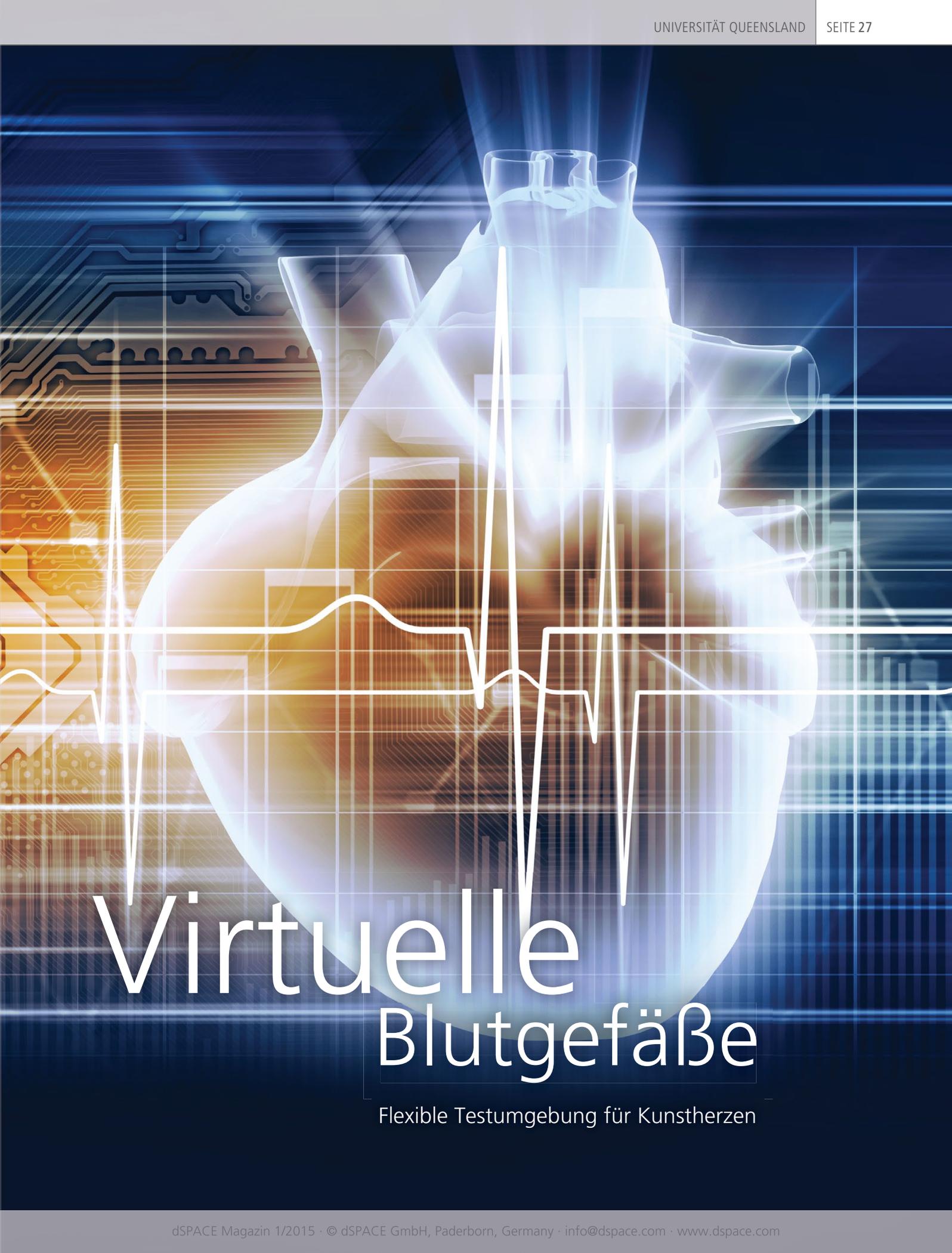
&gt;&gt;

Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung des Blutkreislaufs im Herz-Kreislauf-System. Durch Variation von Puls, Pumpleistung und Dehnbarkeit der Adern passt sich die Blutversorgung in den verschiedenen Körperregionen automatisch dem aktuellen lokalen Bedarf an.



#### Der Weg des Blutes durch den Körper:

- 1 Das sauerstoffarme Blut (im Bild blau) fließt über den rechten Vorhof in die rechte Herzkammer und wird anschließend über die Lungenschlagader in die Lungen gepumpt.
- 2 In den Lungen gibt das Blut Kohlendioxid ab und nimmt Sauerstoff auf.
- 3 Das mit Sauerstoff angereicherte Blut (im Bild rot) fließt über den linken Vorhof in die linke Herzkammer.
- 4 Die linke Herzkammer pumpt das Blut über die große Körperschlagader, die Aorta, in den Körper zur Sauerstoffversorgung sämtlicher Organe. Danach beginnt der Kreislauf von vorn.



# Virtuelle Blutgefäße

Flexible Testumgebung für Kunsterzen

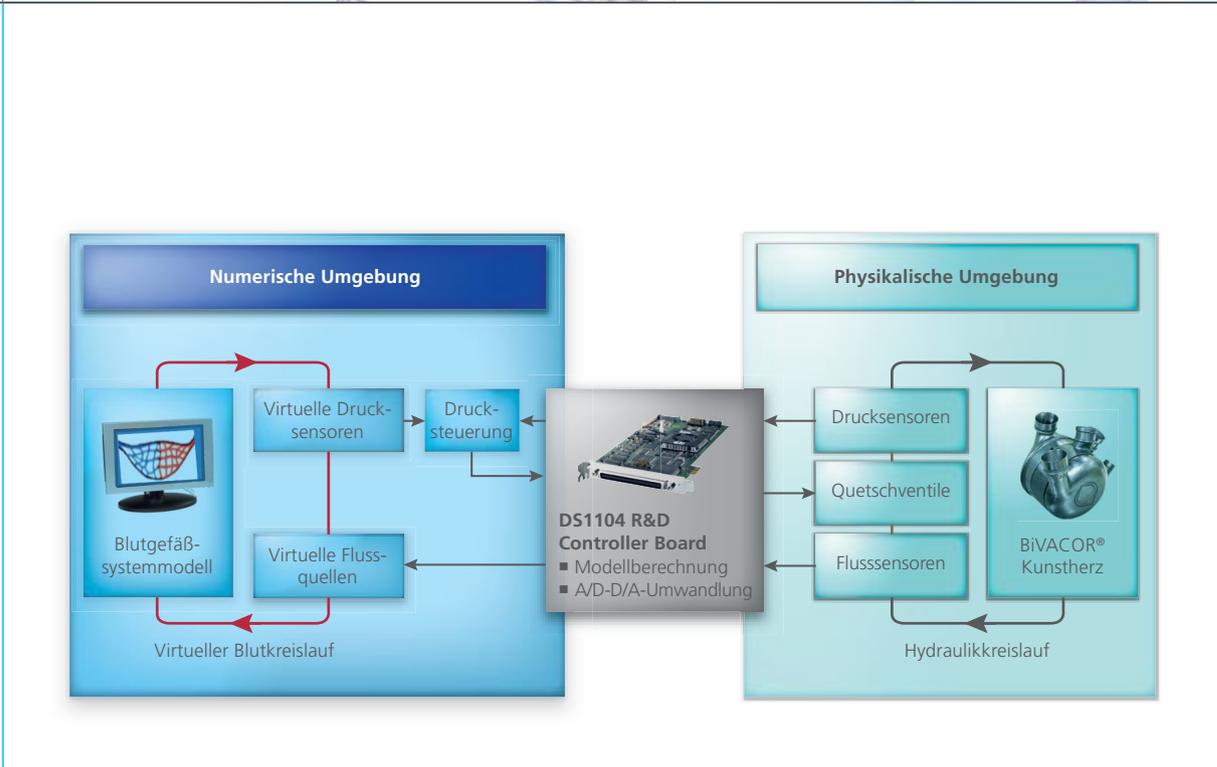


Abbildung 2: Schematischer Aufbau des Testplatzes. Das im Rechner modellierte Blutgefäßsystem ist über verschiedene Sensoren und Aktoren mit dem Kunstherz verbunden. Die Eigenschaften des Blutgefäßsystems sind auf diese Weise sehr einfach änderbar.

der Universität Queensland einen völlig anderen Weg gegangen (Abbildung 2). Sie haben das komplette Gefäßsystem als numerisches Modell am Rechner realisiert. Erweitert wurde der Rechner durch ein DS1104 R&D Controller Board von dSPACE zum Regeln der Experimente. Das Kunstherz ist mit einem einfachen Schlauchsystem verbunden, um so einen Hyd-

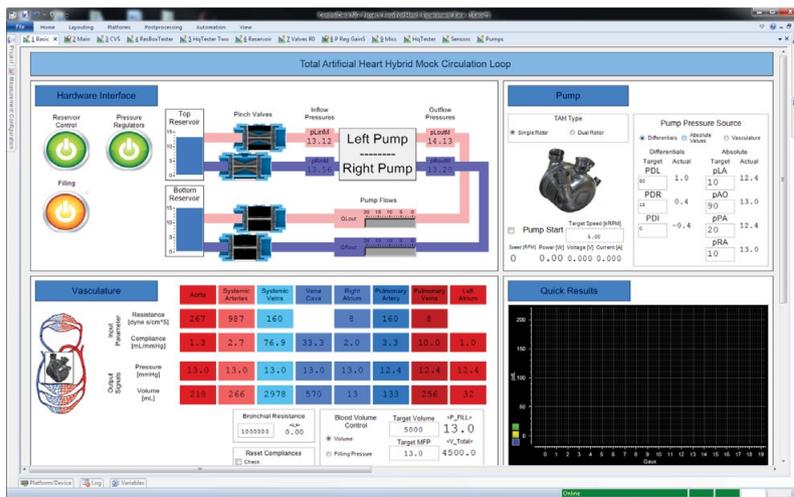
raulikkreislauf aufzubauen. Das System wird mit einem Glycerin-Wassergemisch als Ersatzblut versorgt, dessen Strömungseigenschaften denen des menschlichen Blutes entsprechen.

### Flexible Testumgebung für Kunstherzen

Die Schnittstelle zwischen dem Gefäßmodell im Rechner einerseits und

dem mechanischen Kunstherz andererseits besteht aus Druck- und Flusssensoren und mehreren Quetschventilen an den Schläuchen. Die Quetschventile steuern den Fluss des Ersatzblutes so, dass er dem Fluss von echtem Blut in einem menschlichen Gefäßsystem entspricht. Da die Eigenschaften des virtuellen Gefäßsystems, z.B. die Dehnbarkeit der Gefäße, im Rechner sehr leicht zu ändern sind, lassen sich unterschiedlichste Szenarien bequem durchspielen, zum Beispiel Personen in Ruhe oder in Bewegung. Auf diese Weise sind umfassende Tests der Regelalgorithmen des Kunstherzens möglich.

Abbildung 3: Die dSPACE Experimentiersoftware ControlDesk Next Generation dient als zentrale Bedienoberfläche u.a. zur Datenaufnahme, Parameteränderung und zur grafischen Darstellung verschiedenster Systemzustände.



### Kunstherztests mit dSPACE Equipment

Die Sensoren (für Druck und Fluss) und Aktoren (Quetschventile) sind an das im PC installierte DS1104 R&D Controller Board angeschlossen. Die Experimentiersoftware dSPACE ControlDesk Next Generation (Abbildung 3) dient als zentrale Bedienoberfläche u.a. für die Datenaufnahme, zur Änderung von Parametern (z.B. Dehnbarkeit der Blutgefäße) und zur grafischen Darstellung verschie-

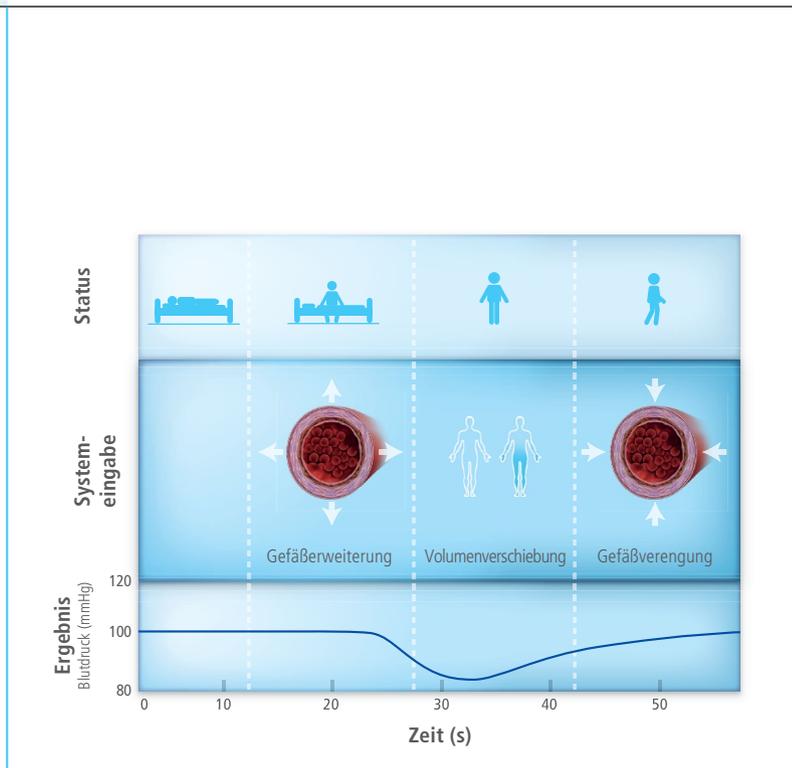


Abbildung 4: Wird das Aufstehen einer Person simuliert, so reagiert das künstliche Herz-Kreislauf-System genauso wie der menschliche Organismus.

denster Systemzustände. Das Modell des Gefäßsystems und die Regelalgorithmen für das Kunstherz wurden mit MATLAB®/Simulink® entwickelt und mit einer zeitlichen Schrittweite von 1 ms ausgeführt.

#### Alltagsszenarien simulieren

Eine typische Alltagssituation demonstriert die Leistungsfähigkeit des Aufbaus: Steht eine Person auf, so beobachtet man den Effekt, dass mit der einsetzenden Muskelaktivität der systemische Gefäßwiderstand (d.h. der Widerstand der Gefäße im Körperkreislauf, vgl. Abbildung 1) sinkt; Blut sackt in die unteren Gliedmaßen und fließt nicht sofort wieder zum Herzen zurück (Volumenverschiebung nach unten). Als Reaktion darauf ziehen sich die Gefäße zusammen, der Gefäßwiderstand steigt wieder an und pendelt sich auf einem höheren

Wert ein als vorher. Durch dieses quasi pumpende Verhalten der Beinmuskulatur wird das Blut letztlich wieder gleichmäßig verteilt (Volumenverschiebung nach oben). Dies soll verhindern, dass es beim Aufstehen zu Schwindel oder Ohnmachtsanfällen kommt. Um diesen Prozess zu reproduzieren, wurde die Sequenz in das Simulationsmodell programmiert (Abbildung 4). Flüssigkeitsverschiebungen wurden durch Ändern der Dehnbarkeit der Blutgefäße erreicht, Gefäßerweiterungen und -verengungen ließen sich durch unterschiedliche Widerstandswerte nachbilden. Das resultierende Verhalten des simulierten Blutdrucks entspricht den Vorgängen im menschlichen Organismus. ■

Frank Nestler,  
Universität Queensland

„Mit dem dSPACE System konnten wir eine flexible und effiziente Entwicklungsumgebung für das Kunstherz BiVACOR schaffen.“

Frank Nestler, Universität Queensland

## Fazit

Mit Hilfe der dSPACE Werkzeuge wurde eine Testumgebung für Kunstherzen aufgebaut, bei der das Kunstherz die einzige mechanische Komponente ist. Das komplette menschliche Gefäßsystem wurde dagegen im Rechner modelliert und lässt sich auf diese Weise in seinen Eigenschaften sehr bequem in kürzester Zeit verändern. Mit dieser Entwicklungsumgebung sind reproduzierbare (automatisierte) Tests von Kunstherzen unter verschiedensten Randbedingungen möglich. Diese Arbeitsweise erleichtert die Entwicklung von Regelalgorithmen für Kunstherzen erheblich.



#### Frank Nestler

Frank Nestler ist Forschungsingenieur am Texas Heart Institute in Houston, Texas, und promoviert an der Universität Queensland im australischen Brisbane.

