



Doctoral Thesis

## Messung von Herzbewegungen und Strömungen in Blutgefässen mittels neuer Magnetresonanz-Verfahren

**Author(s):**

Meier, Stephan Ernst

**Publication Date:**

1992

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000667138> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

# Messung von Herzbewegungen und Strömungen in Blutgefäßen mittels neuer Magnetresonanz-Verfahren

Abhandlung

zur Erlangung des Titels eines  
Doktors der Naturwissenschaften  
der  
Eidgenössischen Technischen Hochschule  
Zürich

vorgelegt von

**Stephan Ernst Maier**  
Dr. med.  
geboren am 5. Juli 1959  
von Wettingen (Aargau)

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. Peter Bösiger, Referent  
Prof. Dr. Max Anliker, Korreferent  
Prof. Dr. med. Hanspeter Kraysenbühl, Korreferent

# Zusammenfassung

Die Entwicklung nichtinvasiver Magnetresonanzverfahren zur Bewegungsanalyse eröffnet ungeahnte Möglichkeiten in der quantitativen Erfassung relevanter kardiovaskulärer Parameter. Zusammen mit anderen Magnetresonanzmethode n hat die Bedeutung dieser Verfahren im klinisch-diagnostischen Bereich im Verlaufe der letzten Jahre rasant zugenommen. Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Ausarbeitung solcher bewegungssensitiver Methoden und Untersuchungstechniken, die in physiologischen und pathophysiologischen Studien am Menschen angewendet werden können. Der Einsatz dieser Methoden in der medizinischen Diagnostik wird in zahlreichen klinischen Anwendungsbeispielen vorgestellt.

Für die Bestimmung der Herzmuskelbewegung im linken Ventrikel wurde ein Verfahren verwendet, das eine nichtinvasive Markierung des Gewebes erlaubt. Mit Hilfe dieses Verfahrens wurde sowohl an Probanden als auch an Patienten mit hypertropher Kardiomyopathie der komplizierte Kontraktionsablauf im linken Ventrikel in mehreren Ebenen orthogonal zur Herzlängsachse untersucht. Sowohl bei den gesunden Probanden als auch bei den Patienten mit hypertropher Kardiomyopathie wurde in Einklang mit den Ergebnissen invasiver Methoden eine Drehbewegung von einigen Grad im Uhrzeigersinn an der Herzbasis und eine entgegengesetzte Rotation an der Herzspitze festgestellt. Die im Vergleich zu den herkömmlichen invasiven Methoden hohe räumliche Auflösung des Verfahrens erlaubte die Bestimmung der lokalen transmuralen Gradienten der Rotations- und der Kontraktionsbewegungen im linken Ventrikel. In Übereinstimmung mit dem pathologischen Umbau der Herzmuskelstruktur bei hypertropher Kardiomyopathie konnten bei den Patienten leichte Veränderungen im Bewegungsablauf festgestellt werden.

Erfahrungen mit dem Phasenkontrast-Verfahren, welches sich zur Messung der zweidimensionalen Geschwindigkeitsverteilung in Blutgefäßen besonders eignet, wurden im Laufe einer Validierungsstudie mit Ultraschall-Doppler gemacht. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus dieser früheren Arbeit wurde eine neu entwickelte, auf der Detektion des freien Induktionszerfalls basierende Gradientenecho-Sequenz derart erweitert, daß mit der Bestimmung der Signalphase die Quantifizierung der Geschwindigkeit möglich wird. Verschiedene Einflüsse, die zu Fehlern bei der Quantifizierung der Geschwindigkeit führen, wurden in Phantommessungen eingehend untersucht. Die inhärenten, für diese Anwendung besonders günstigen Eigenschaften dieser Sequenz konnten sowohl theoretisch als auch experimentell dargelegt werden. In der praktischen Anwendung zeichnet sich diese Sequenz gegenüber den konventionellen Sequenzen durch ihre hervorragende Unterdrückung bewegungsbedingter Signalverluste und Quantifizierungsfehler aus. Für die exakte Auswertung einer größeren Zahl von in vivo Messungen wurde ein interaktives Programm entwickelt.

In verschiedenen Flußanalysen an Probanden konnte anhand von Bilanzstudien die Präzision des Meßverfahrens und der Auswertung demonstriert werden. Messungen mit bisher unerreichter örtlicher und zeitlicher Auflösung, die an Probanden durchgeführt wurden, ergaben eine umfangreiche Dokumentation der Geschwindigkeitsfelder und Flußpulskurven an unterschiedlichen Lokalisationen im Kreislaufsystem. Insbesondere wurden die großen Herzgefäße, die Carotisbifurkation, die Liquorpulsationen im cervikalen Bereich, die intrakraniellen Gefäße, die abdominalen Gefäße einschließlich der Nieren- und Mesenterialarterien und die peripheren Gefäße der Extremitäten untersucht. Die mittels Phasenkontrast gemessenen Strömungsfelder dürften für eine Abschätzung hämodynamischer Faktoren in der Genese atherosklerotischer Gefäßveränderungen sehr aufschlußreich sein. Bei Patienten konnte die Strömungsverteilung distal stenosierter und insuffizienter Herzklappen gemessen werden. Eine größere Anzahl von Patienten wurde vor und nach Therapie von Gefäßstenosen beziehungsweise -verschlüssen der Extremitäten- und Nierenarterien untersucht. Ferner konnten Veränderungen der Strömungsprofile und Flußpulskurven aufgezeigt werden, die beim Ersatz eines Gefäßabschnittes durch eine Prothese entstehen. Insgesamt konnte das hohe Potential dieser Methoden für einen künftigen Einsatz in der klinischen Diagnostik und der Grundlagenforschung am kardiovaskulären System belegt werden.

# Summary

The development of non invasive magnetic resonance techniques for the analysis of motion offers unprecedented possibilities in the quantitative assessment of relevant cardiovascular parameters. Together with other magnetic resonance methods the significance of these techniques in the domain of clinical diagnosis has increased tremendously during the past years. The present work deals with the elaboration of such motion sensitive methods and examination techniques which can be applied in physiological and pathophysiological studies on mankind. The use of these methods in medical diagnosis is introduced with numerous examples of clinical applications.

For the estimation of the myocardial movement of the left ventricle a method was used, which allows noninvasive marking of the tissue. With this technique the complicated motion pattern of the left ventricle was studied in several planes orthogonal to the long axis of the heart both in healthy volunteers and in patients with hypertrophic cardiomyopathy. In accordance with former invasive methods a clockwise rotation of a few degrees at the base and a counterclockwise rotation at the apex of the heart was found both in the group of healthy volunteers as well as in the group of patients with hypertrophic cardiomyopathy. The in comparison to the conventional invasive methods high spatial resolution of the technique allowed an estimation of local transmural gradients of rotation and contraction in the left ventricle. In agreement with the pathologic alterations of the myocardial structure under hypertrophic cardiomyopathy slight abnormalities in the motion pattern were observed in the patients with a diseased ventricle.

First experiences with the phase contrast method, which allows to measure the twodimensional velocity distribution in blood vessels, were obtained in the course of a validation study with Doppler ultrasound. Utilizing the knowledge gained in this earlier work, a newly developed gradient echo sequence based on the detection of the free induction decay was adapted for a velocity quantification with the phase of the magnetic resonance signal. Different influences, which are the cause of velocity quantification errors, were thoroughly investigated on a flow phantom. The inherent, for this specific application particularly advantageous features of this sequence, were demonstrated both in theory and experiment. In the practical use this sequence in comparison to conventional ones stands out for a superior suppression of motion induced signal loss and quantification errors. For accurate evaluation of a larger number of in vivo measurements an interactive programme was developed.

Studying the flow balance in different flow analyses on volunteers the high precision of the technique as well as the evaluation procedure was proved. An extensive documentation of the velocity fields and flow pulse curves at various locations of the circulatory system were the result of measurements with an unrivalled spatial and

temporal resolution on healthy volunteers. In particular the great heart vessels, the carotid bifurcation, the pulsations of the cerebral liquid at cervical level, the intracranial vessels, the abdominal vessels including the renal and mesenterial arteries as well as the peripheral vessels of the extremities were investigated. For the estimation of hemodynamic factors in the genesis of atherosclerotic alterations of the vessels the velocity fields measured with phase contrast are considered to be extremely revealing. In patients with stenosed and insufficient heart valves the velocity distribution distal to the lesion was quantified. A larger number of patients was examined before and after therapy of vessel occlusions and stenoses of the peripheral arteries in the extremities and of the renal arteries. Furthermore documented were alterations of the velocity and flow rate pattern which are caused by the replacement of a vessel segment by an artificial graft. Altogether the high potential of these methods for a future application in clinical diagnostics and basic research on the cardiovascular system was proved.