



Doctoral Thesis

## Nichtinvasive Erfassung der Gewebsdurchblutung mittels Ultraschall

**Author(s):**

Basler, Samuel

**Publication Date:**

1989

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000507864> →

**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](#).

**Diss. ETH Nr. 8796**

# **Nichtinvasive Erfassung der Gewebsdurchblutung mittels Ultraschall**

**ABHANDLUNG**

zur Erlangung des Titels eines  
Doktors der Technischen Wissenschaften  
der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH

vorgelegt von

**SAMUEL BASLER**  
Dipl. El.-Ing. ETH  
geboren am 15. Februar 1953  
von Bottenwil

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. Max Anliker, Referent  
Prof. Dr. Peter Niederer, Korreferent

Zürich 1989



Juris Druck + Verlag Zürich  
1989

## ZUSAMMENFASSUNG

Zur nichtinvasiven Erfassung der Durchblutung von Körpergeweben wurde ein gepulstes Ultraschall-Dopplergerät entwickelt.

Um von den im Gewebe in relativ geringer Konzentration vorhandenen Erythrozyten ausreichende Streuleistung zu erhalten, wurde die Grundfrequenz des Geräts bei 15 MHz gewählt, also wesentlich höher als bei konventionellen nichtinvasiven Dopplergeräten. Dies gewährleistet ein möglichst gutes Signal-zu-Rausch-Verhältnis bei einer maximalen Eindringtiefe von 2 cm.

Trotz der erhöhten Ultraschallfrequenz mussten besondere Anstrengungen unternommen werden, um die von fließenden Erythrozyten stammenden Dopplersignale aus dem Gemisch von Nutzsignalen, Störsignalen und Rauschen extrahieren zu können.

Besonders die eigens entwickelten hochempfindlichen, breitbandigen Ultraschallsonden, die Verwendung rauscharmer elektronischer Komponenten sowie eine sorgfältige Abschirmung des Empfängerteils trugen wesentlich zur Verbesserung der Signalqualität bei. Speziell zu erwähnen ist die eingesetzte SMD-Technologie, durch welche es möglich wurde, rauscharme Vorverstärker direkt in die Ultraschallwandler einzubauen. Dadurch konnte die Impedanzanpassung zwischen Wandler und Kabel verbessert und damit die Wandlersensitivität gesteigert werden. Gleichzeitig wirkten sich vom Kabel aufgenommene Störsignale, bedingt durch die höheren Nutzsignalpegel, weniger gravierend auf die Signalqualität aus.

Für die Berechnung der Durchblutung wurden, vom Prinzip der "Centroid"-detektoren ausgehend, ein analoges und zwei digitale Signalverarbeitungsverfahren vorgeschlagen und realisiert. Dabei werden die aus einem durch Geräteparameter und Ultraschallwandler definierten Gewebevolumen reflektierten, mit Dopplerverschiebungen behafteten Ultraschallsignale derart verarbeitet, dass man den totalen, im Messvolumen vorhandenen Erythrozytenfluss in Ultraschallstrahlrichtung erhält.

An einem miniaturisierten Flussphantom konnte in ausgedehnten Versuchen an Einzelgefässen und Gefässbündeln unter kontrollierten Bedingungen die Tauglichkeit der Ultraschallwandler, des Senders und Empfängers und der Signalverarbeitungsverfahren nachgewiesen werden. Als Flussmedium wurde ausschliesslich Humanblut mit unterschiedlichen Hämatokritwerten verwendet.

Mit Messungen an Tieren, Probanden und Patienten liessen sich die Funktionen des Geräts unter realistischen Bedingungen analysieren. Künstlich erzeugte Durchblutungsänderungen konnten reproduzierbar gemessen werden. Um die Resultate besser interpretieren zu können, wurden bei den Probandenmessungen nebst der Gewebedurchblutung zusätzlich die Durchblutung in der über dem Messgebiet liegenden Haut mittels eines Laser-Dopplergeräts und mithilfe eines 10 MHz-Ultraschall-Dopplergeräts die Flussgeschwindigkeit in einer benachbarten grösseren Arterie gemessen. Ausserdem wurden Atmung und EKG mitaufgezeichnet.

Da das Messsystem nicht nur auf Erythrozytenbewegungen empfindlich reagiert, sondern auf Bewegungen aller Art, erschweren im Messgebiet vorhandene Muskelzuckungen und Mikrovibrationen den Einsatz des Geräts. Durch komfortable

Lagerung des auszumessenden Körperteils, Verwendung von leichten, aufklebbaren Ultraschallsonden sowie durch eine EKG-synchrone Datenaufnahme waren diese Probleme weitgehend in den Griff zu bekommen.

Mit dem realisierten Gerät steht ein nichtinvasives Werkzeug zur Verfügung, das in einer Vielzahl von Anwendungen wertvolle diagnostische Information zu erbringen vermag.

## SUMMARY

A pulsed ultrasonic Doppler instrument has been developed for the purpose of measuring non-invasively changes in tissue blood flow within a depth range of 2 cm.

In order to ascertain a sufficiently strong scattering-signal from the relatively few slow moving erythrocytes in the microvessels of the tissue and also to obtain an adequately large Doppler-shift from these scatterers the ultrasound frequency should be chosen as high as possible. On the other hand, the attenuation of ultrasound in the tissue (1dB per cm and MHz) dictates an upper limit of this frequency for a sufficiently large S/N-value. Because of these reasons the ultrasound frequency selected for a depth range of 2 cm was 15 MHz, i.e. a frequency which is substantially higher than that normally utilized in non-invasive Doppler instruments. Nevertheless, special efforts had to be made to succeed in attaining minimal noise.

Considerable improvements in this sense were achieved thanks to our development of highly sensitive ultrasound transducers with a center-frequency of 15 MHz and a bandwidth of 7 MHz. An important role played thereby the use of electronic components with extremely low noise and the careful shielding of the preamplifier for the echo signals which was located directly behind the piezoelement of the transducer. The preamplifier also allowed for an improved matching of the electrical impedance between the transducer and the cable and for minimization of the relative contribution of the noise picked up by the cable to the signal to be analyzed for Doppler-shifts.

For the computation of the average volume flow rate in the direction of the ultrasound beam axis three different procedures for processing the Doppler signals were evaluated, one in analog and two in digital technique.

A miniaturized flow phantom was devised for extensive analysis of the performance of the transducer, transmitter, receiver and the signal processing procedures. Controlled flow experiments with single vessels and bundles of microvessels perfused with human blood of different hematocrits have proven the quality of the hardware and given the evidence of the merits of each of the three signal processing procedures. Best of the latter was that which determines the mean volume flow rate on the basis of a fast Fourier transform.

The results obtained from the controlled phantom studies were confirmed in character by more realistic tests in the form of measurements carried out on animals,

volunteers and patients. Reproducible results were obtained under conditions of reactive hyperemia or other controlled occlusion experiments in all cases.

Our Doppler system not only responds to moving erythrocytes but also to tissue movements of all kinds. Accordingly any microvibration or incidental muscle contractions may falsify the volume flow measurement. Such falsification can be minimized by providing comfortable support of the body part whose tissue is to be examined, by using light-weight transducers which can be taped to the skin and by avoiding measurements during the passage of the arterial pulse wave.

The system in its current design is a non-invasive tool capable of providing valuable diagnostic information in many cases.