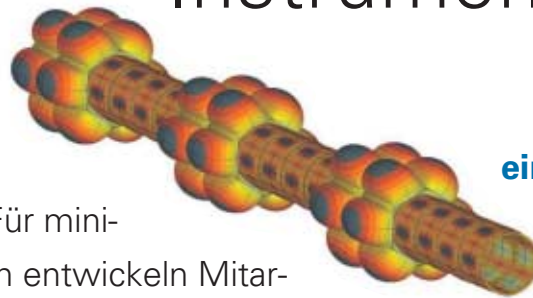




Ein Regenwurm und sein technisches Gegenstück

Regenwürmer als Vorbild für medizinische Instrumente



Ansteuerung für
sche Sonde.

Für mini-Operationen entwickeln Mitarbeiter der TU Ilmenau eine peristaltische Sonde, deren Bewegung nach dem Vorbild des Regenwurms erfolgt. Sie kann sich selbstständig durch Hohlräume des menschlichen Körpers, etwa den Wirbelkanal, bewegen [1].

eine peristaltische mal invasive beiter der TU aus Silikon,

SIEGFRIED OBERTHÜR
PETRA MEIER

Die geringen Abmessungen (Durchmesser 4 bis 7 mm) der peristaltischen Sonde und das Material Silikon verursachen einige Probleme bei Technologie, Berechnung und Ansteuerung. Die Sonde kann aus minimal drei Segmenten bestehen; die maximale Anzahl der Segmente ist besonders durch die Anzahl der Zuleitungen zu jedem Segment begrenzt.

Ein Controller außerhalb der Sonde steuert hydraulisch jedes Segment einzeln an und variiert damit dessen Durchmesser und Länge. Jedes Segment der Sonde hat auf dem Umfang drei um 120° versetzte Kissenstrukturen, die für eine gradlinige Vorwärtsbewegung synchron gefüllt werden. Für die Bewegung einer Sonde aus

sechs Segmenten werden also 18 Zuleitungen benötigt, zuzüglich Zuleitungen für Sonderfunktionen, wie das Spülen des Operationsfelds. Außerdem müssen medizinische Instrumente durch das Innere des Schlauchs und der Sonde geschoben werden. Der eingesetzte Schlauch (Außendurchmesser 3,5 mm) hat deshalb 22 Versorgungsleitungen (Innendurchmesser 0,35 mm) und einen Arbeitskanal (Durchmesser 2,5 mm = Innendurchmesser des Schlauchs).

Die Sondenbewegung hängt von der Segmentzahl ab

Die Geschwindigkeit der Sonde ist zunächst von der Anzahl der Segmente beziehungsweise der Takte pro Zyklus und der Längenänderung pro Segment und

Taktzeit abhängig (Bild 1):

$$v = \frac{(n-2) \cdot \Delta l}{n \cdot t}$$

v: Geschwindigkeit, Δl : Längenänderung je Segment (0,12 mm), n: Anzahl der Segmente, t: Taktzeit (200 ms)

Die minimale Taktzeit wird außerdem durch den fluidischen Widerstand der Zuleitungen (Multilumenschlauch, Leitungen auf der Sonde) [6] und die Mindesttaktzeit des mechanischen Systems festgelegt. Mit steigender Segmentanzahl erhöht sich die Anzahl der Zuleitungen auf der Sonde, das heißt, deren maximal möglicher Querschnitt sinkt (Bild 2; Mindesttaktzeit: 200 ms, Schlauchlänge: 1 m, Druck: 1 bar, Volumen: 40 μ l).

Prinzipielle Forderungen an das Ansteuerkonzept

Die hydraulische Ansteuerung der Segmente erfolgt über Volumensteuerung. Damit wird unabhängig von hydraulischen Widerständen (Zuleitungen) ein definiertes Ausdehnen der Segmente auf das eingestellte Volumen gewährleistet (analog zu einer Konstantstromquelle). Im Fehlerfall, etwa beim Bersten eines Zuleitungsschlauchs, kann damit nur eine Flüssig-

Takt	A B C	3 Segmente	A B C D E F	6 Segmente	"1" Segment gefüllt "0" Segment leer
1	1 1 0		1 1 0 0 0 0		
2	0 1 1		0 1 1 0 0 0		
3	1 0 1		0 0 1 1 0 0		
4			0 0 0 1 1 0		
5			0 0 0 0 1 1		
6			1 0 0 0 0 1		

1 Taktschema der Bewegung einer Drei- und einer Sechs-Segment-Sonde

sigkeitsmenge von zirka 40 µl ausströmen. Als Hydraulikflüssigkeit wird physiologische Kochsalzlösung gewählt.

Der Controller (Bilder 3 und 5) soll in der Entwicklungsphase der Sonde variierbare Parameter wie Pumpvolumen, Taktzeit und Ansteuerkombination der Segmente zur Verfügung stellen. Der Druck im Hydraulikkanal kann angezeigt werden. Mittels Joystick ist ein unkomplizierter Betrieb der Sonde, also Vorwärts- oder Rückwärtslauf mit wählbarer Geschwindigkeit, möglich. Diskrete analoge und digitale Schaltungen werden mithilfe von Mikrorechnern minimiert, etwa durch die programmtechnische Ermittlung des Offsets der analogen Drucksensoren und der damit möglichen rechnerischen Offsetkorrektur bei allen folgenden Messungen [2, 3].

Der Aufbau des Controllers ist bezüglich der Hydraulikkanäle modular; sechs Kanäle bilden ein Ansteuermodul, drei solcher Module sind aufgebaut. Ein Schaltmetzteil (5 V, 20 A) stellt die Grundstromversorgung des Geräts bereit. Die Versorgung mit Medien wie Druckluft ist nicht nötig.

Die Umsetzung erfolgt in drei Funktionsgruppen (Bild 4): Bedieneinheit (Bedienung, Anzeige), Ansteuerung (Servos, Ventile, Sensoren) und Hydraulik (Pumpen,

Ventile, Drucksensoren). Die logisch aufwändige Steuerung der Hardware muss wegen zeitkritischer Abläufe und der erforderlichen Kapazität von Programm- und Arbeitsspeicher auf mehrere parallel arbeitende Mikroprozessoren modular verteilt werden, also auf neun Prozessoren in den drei Ansteuerungsmodulen und einen Prozessor in der Bedieneinheit.

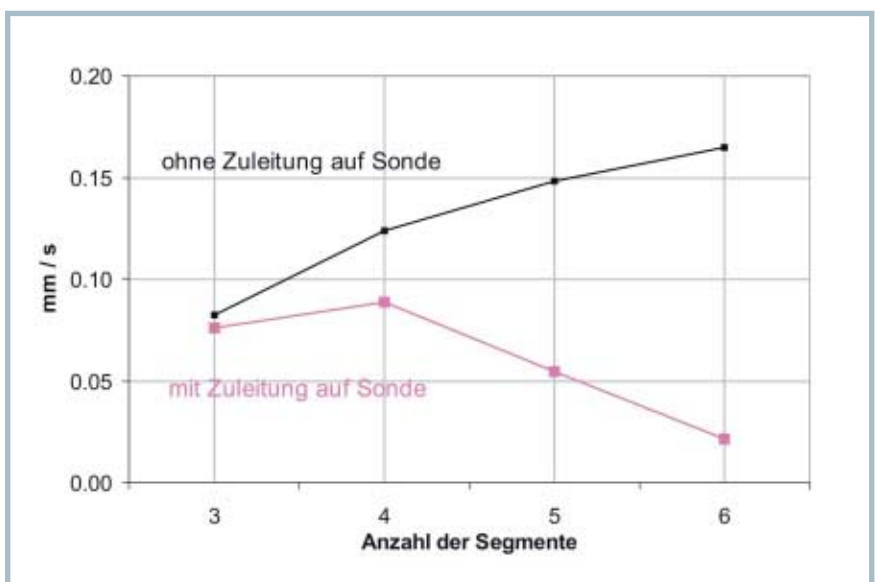
Bedieneinheit und Ansteuerung für die Sonde

Mit einem Mikrorechner als zentralem Schaltungselement wird die Schnittstelle zum Bediener realisiert. Dieser Mikrorechner ist außerdem als Master mit den Mikrorechnern zur Ansteuerung der Pumpen und der Datenerfassung über einen I²C-Bus verbunden. Die Bedienung erfolgt menügesteuert über einen Inkrementalgeber und Tasten für die Einzelkanalansteuerung. Normalerweise wird die Geschwindigkeit und Richtung der Sonde über Joystick gesteuert. Dabei werden die vorher in der Bedieneinheit eingestellten Werte für Volumen und die taktabhängige Ansteuerkombination verwendet. Daten und Menüpunkte werden auf einem LCD-Display angezeigt. >

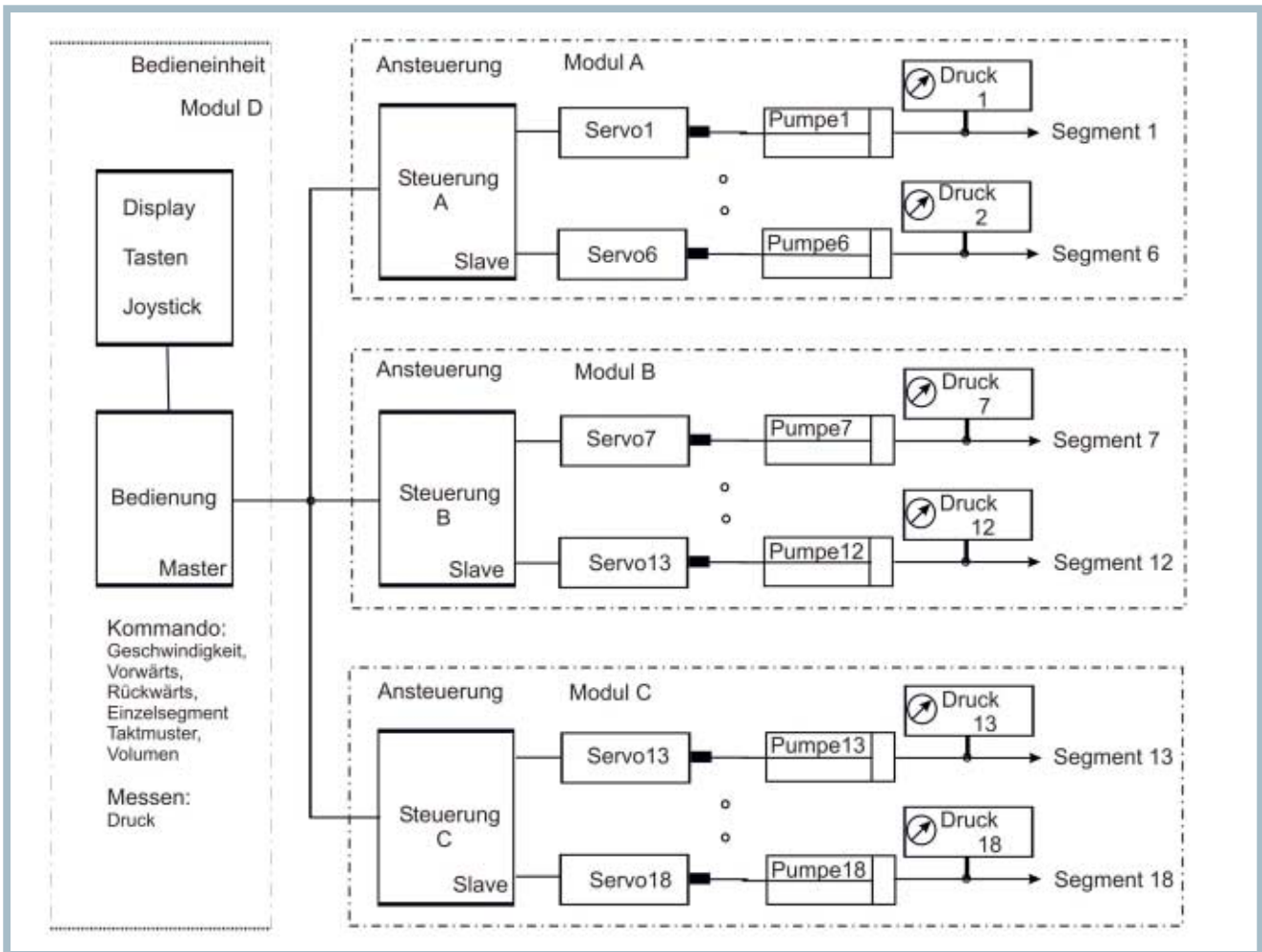
FAZIT

Anspruchsvolles Wurmkonzept

Die Silikon-Sonde, deren Bewegung mindestens drei Segmente erfordert, wird über einen externen Controller hydraulisch gesteuert. Die Ansteuerung muss vor allem ein definiertes Ausdehnen der Segmente sowie einen variablen Betrieb (Vor-/Rückwärtslauf, Geschwindigkeit) gewährleisten. Die Umsetzung des Konzepts erfolgt in den Funktionsgruppen Bedieneinheit, Ansteuerung und Hydraulik.



2 Geschwindigkeit der Sonde in Abhängigkeit von der Segmentanzahl



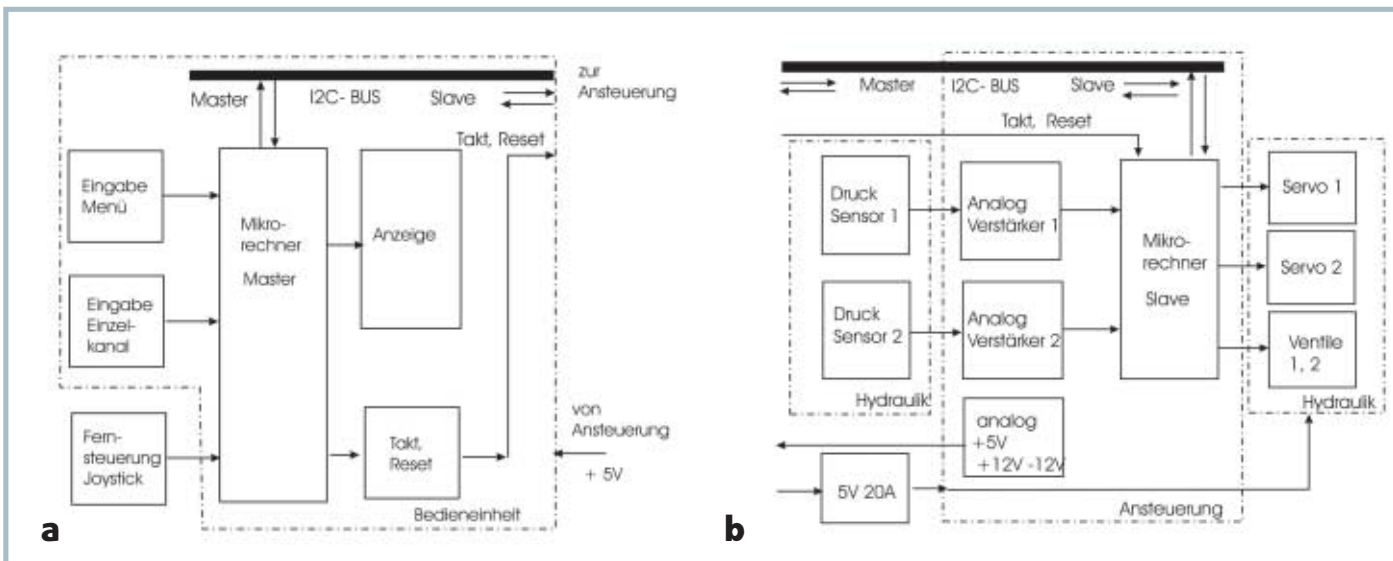
3 Blockschaltbild des Controllers

➤ Mikrorechner als Slaves sind über den I²C-Bus mit dem Master auf der Bedieneinheit verbunden und realisieren die Schnittstelle zu Servos, Ventilen und Drucksensoren, wobei jedem Slave zwei Hydraulikkanäle zugeordnet sind.

Die Stromversorgung erfolgt aus dem

zentralen + 5-V-Netzteil, zusätzliche Spannungen werden über DC/DC-Wandler gewonnen und zum Teil anschließend über Analogregler stabilisiert (Sensorik). Kondensatoren und getrennte Masseführungen sorgen für die Unterdrückung von Störungen. Durch Zuordnen von Zeitfen-

tern werden Störungen der zeitkritischen Ansteuerung der Servos durch Businterruptions und Störungen bei der Druckmessung durch Stromspitzen von den Servos oder Ventilen vermieden. Jedem Drucksensor ist jeweils ein zweistufiger Verstärker nachgeschaltet [4, 5], der die Anpassung





5 Controller im 19"- Gehäuse für 18 Hydraulikkanäle

an den A/D-Wandler in dem Mikrorechner vornimmt. Der Messbereich liegt zwischen > -1 bar Unterdruck bis $< +2$ bar Überdruck. Nullpunktfehler des Sensors werden in der Auswertesoftware automatisch durch eine Offsetkorrektur nachjustiert.

Die Hydraulik der peristaltischen Sonde

Servos treiben gasdichte Mikropumpen mit maximal 500 μ l Pumpvolumen an, die Hydraulikflüssigkeit zur Sonde und zurück pumpen. Ein Hydraulikvorrat dient dem ersten Befüllen der Pumpen, der Ventile, der Zuleitungen und der Sonde, wobei Dreiwege-Ventile zwischen Hydraulikvorrat und Sonde umschalten.

Literatur

1. J. Dietrich, P. Meier, S. Oberthür, R. Preuß, D. Voges, K. Zimmerman: »Development of a peristalticity actuated device for the minimal invasive surgery with a haptic sensor array«; TU Ilmenau, 2002

2. Microchip Technologies: »Embedded Control Handbook«; Chandler /USA 1994, S. 2-165, 2-171, 3-181, 4-63
3. Microchip Technologies: »8-Bit CMOS Flash Microcontrollers PIC16F87X«; Chandler /USA 1999
4. H. Mennenga: »Schaltungstechnik mit Operationsverstärkern«; Verlag Technik, 1981, S. 7-144
5. J. Dostal: »Operationsverstärker«; Verlag Technik, 1989, S. 13-346
6. Shinshu Seiki: »Offenlegungsschrift DE 31 47 107 A1, Tintenstrahl Druckkopf«; Deutsches Patentamt, 1982

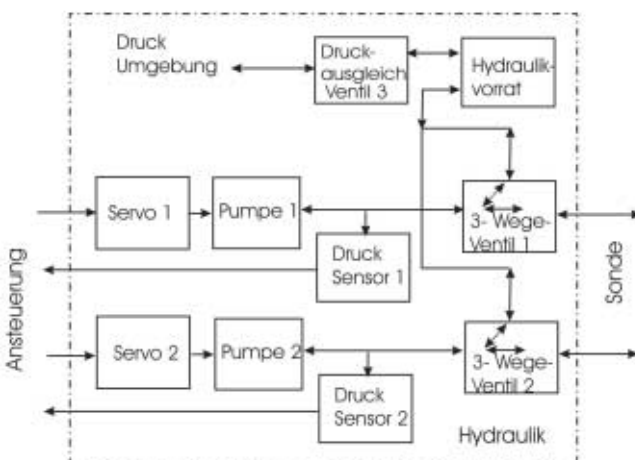
Autoren

Dipl.-Ing. SIEGFRIED OBERTHÜR entwickelt elektronische Steuerungen, Dr. rer.nat. PETRA MEIER ist Leiterin der Nachwuchsgruppe »Peristaltische Sonde« an der Fakultät für Maschinenbau der TU Ilmenau.

Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit Chefarzt Dr. Böhm, Wirbelsäulenchirurgie der Zentralklinik Bad Berka, durchgeführt und durch das Thüringer Kultusministerium gefördert.

KONTAKT

Technische Universität Ilmenau,
Fakultät für Maschinenbau,
98693 Ilmenau,
Tel. 0 36 77 /69 18 14,
Fax 0 36 77 /69 17 76,
www.tu-ilmenau.de



4 Blockschaubild der Bedieneinheit (a), der Ansteuerung für zwei Kanäle (b) und der Hydraulik (c)