

**5. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
15.-16. Oktober 2004 in
Saarbrücken**



„Computersimulation in der Medizintechnik“

J. Werner
Lehrstuhl für Biomedizinische Technik, Medizinische Fakultät, Ruhr-Universität Bochum,
Bochum, Deutschland
E-Mail: juergen.werner@rub.de

Band: „Tagungsband, Automed 2004“
Editors: W. I. Steudel
ISBN: 3-00-013509-X
Pages: 79-80

Computersimulation in der Medizintechnik

J. WERNER

Lehrstuhl für Biomedizinische Technik, Medizinische Fakultät, Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, 44780 Bochum

E-Mail: juergen.werner@rub.de

In der Medizintechnik gewinnt die Computersimulation eine ganz besondere Bedeutung für den Entwurf kooperativer und autonomer Systeme, insbesondere für Patienten-Maschine-Systeme oder künstliche Organe [Werner1998], [Schmidt2003], [Werner2005].

Ein System, in dem der Arzt z. B. technische Geräte zur Diagnose und Therapie kontrolliert, interpretiert und bedient, lässt sich in praktisch vollständiger Analogie zum technischen Prozessführungssystem darstellen. In Prozessführungssystemen wird der Mensch in zunehmendem Maße durch Automatisierungssysteme entlastet (Abb. 1A). Neben der direkten Einwirkungsmöglichkeit des Menschen ("Human Operator") auf den technischen Prozess (1) und der Rückkopplung von Information auf den Menschen (2) kommen Informationspfade vom Automatisierungssystem auf den Menschen (3) und auf den technischen Prozess (4) hinzu sowie sinnvoller- und notwendigerweise die Möglichkeit des Einwirkens des Menschen (5) und des technischen Prozesses (6) auf das Automatisierungssystem.

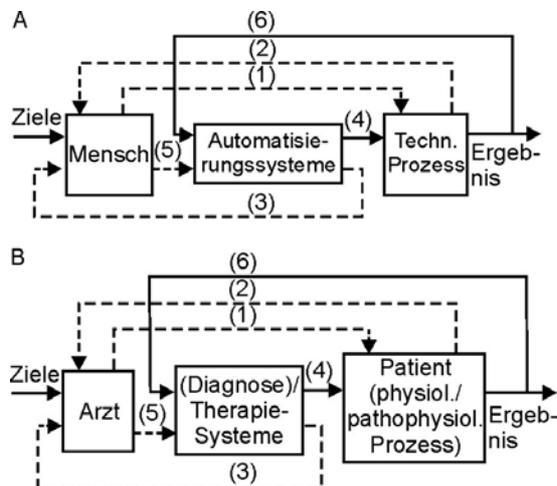


Abb.1: Interaktion Mensch/Maschine. Analogie Prozessführungssystem (A) und Patienten-Arzt-Maschine-System (B). Durchgezogene Linien: weitgehend autonomes System: Patienten-Maschine-System

Im Patienten-Arzt-Maschine-System (Abb. 1B) treten an die Stelle der technischen Prozesse physiologische/pathophysiologische Prozesse (oder der Patient als physiologisches Gesamtsystem). Die Automatisierungssysteme konkretisieren sich zu Diagnose- und/oder Therapiesystemen. Von besonderer Bedeutung sind die Systembeziehungen und -interaktionen, die insbesondere ein Therapiesystem befähigen, (über längere Zeit) selbsttätig, d. h. ohne die Einwirkungen des Arztes, in

einem Regelkreis mit dem Patienten oder einem seiner Organsysteme zu kooperieren. In diesem "Betriebszustand" sind nur die in Abb. 1B durchgezogenen Informationspfade aktiv: Patienten-Maschine-System.

SIMULATION PHYSIOLOGISCHER SYSTEME

Die Simulation der vorgegebenen physiologischen Prozesse setzt intime Kenntnisse und deren Umsetzung sowie meist die Beschaffung weiterer Informationen durch experimentelle Studien voraus, will man nicht auf der Stufe rudimentärer Grobmodelle verharren. Anders als bei der Teilsimulation zu entwerfender technischer Prozesse sind Strukturen und Parameter der physiologischen Prozesse nicht frei wählbar, sondern meist in komplexer und nicht vollständig identifizierter Weise vorgegeben. Die essentielle Entscheidung bleibt dem Bearbeiter allerdings - wie bei allen Modellen - hinsichtlich der Wahl der Abstraktionsebene der Simulation. Es gilt der allgemeine Grundsatz der Simulationstechnik, das Modell möglichst einfach zu gestalten, jedoch in jedem Fall so, dass es die Lösung des gestellten Problems erlaubt. In diesem Sinne sind physiologische Modelle selten "einfach", aber dennoch immer bedeutend weniger komplex als die Realität.

In den medizinischen Wissenschaften deutet sich, nachdem seit längerer Zeit fast nur noch die zelluläre und subzelluläre Forschung als zukunftsfruchtig und förderungswürdig galt, eine gewisse Rückbesinnung und Einsicht in die Notwendigkeit der vertieften Bearbeitung der Systeminteraktionen auf der Organ- und Organsystemebene an, insbesondere unter Einsatz der modernen Computer-Hard- und -Software. Nachdem weltweite Genom- und Proteomprojekte initiiert worden waren, ist nun auch ein Physiomprojekt [Hunter2001], mit dem Ziel der Erstellung umfassender integrativer mathematischer Modelle der menschlichen Physiologie, auf dem Wege. Es ist zu erwarten, dass das Verständnis vom Zusammenspiel technischer und physiologischer Systeme dadurch weiter verbessert wird und technische Organersatzsysteme auf diese Weise die gestörten oder zerstörten physiologischen Systeme wiederherstellen können.

SIMULATION VON PATIENTEN-MASCHINE-SYSTEMEN

Die Simulation des Patienten-Maschine-Systems kann als vollständige Computersimulation im geschlossenen

Kreis, aber auch als "hybride" Simulation erfolgen, d. h. mit einem Computermodell des physiologischen Systems im Zusammenwirken mit dem realen technischen Gerät. Führt - meist nach vielen iterativen Schritten - die vollständige oder hybride Computersimulation zu befriedigendem Verhalten des Gesamtsystems, wird meist das technische System an einem Tier"modell" experimentell getestet, bevor es am oder im "Original" eingesetzt wird und damit die Realisierung des Patienten-Maschine-Systems ermöglicht.

Der Simulationsprozess kann in sieben Stufen gegliedert werden:

1. Simulation des physiologischen Systems, seiner Struktur, Funktion und Dysfunktion im Kontext der zu treffenden Therapiemaßnahme.
2. Validierung dieser Teilsimulation.
3. Entwurf des physikalisch/technischen Systems auf der Simulationsebene.
4. Validierung dieser Teilsimulation.
5. Simulation der Interaktion/Kooperation der beiden Subsysteme.
6. Validierung der Gesamtsimulation.
7. Anpassung und Optimierung der Interaktion/Kooperation durch Modifikation des Systementwurfs.

Damit liefert die Simulation erst die Grundlage und Voraussetzung dafür, dass ein zu realisierendes Therapiesystem/-gerät die zu fordernde Zielsetzung, nämlich den maximal möglichen Therapieerfolg bzw. die optimale Kooperation technischer/physiologischer Systeme, weitestgehend erreicht. Eine verantwortungsvoll handelnde Medizintechnik schaltet diesen Prozess in der Regel dem Bau, der Produktion und dem Einsatz des realen Systems voraus. Es ist evident, dass dies im Zuge der schnellen Markteinführung medizintechnischer Geräte und Systeme nicht immer oder nicht immer hinreichend geschieht. Die Modellierung und Simulation in der Medizintechnik setzt nicht nur die Beherrschung der mathematischen und informations-/automatisierungstechnischen Werkzeuge und der physikalischen und technischen Prozesse der Therapiemaßnahmen und -geräte voraus, sondern erfordert auch fundierte Kenntnisse und Einsichten in die funktionelle und operative Medizin. An die Stelle der Verantwortlichkeitsseparation durch Schnittstellen und weitgehend unabhängige Arbeitspakete muss eine verzahnte Kooperation treten, die "vor Ort" Hand in Hand vonstatten geht und interaktiv und iterativ die Simulation mit der Realität abgleichen muss. Medizinische und nichtmedizinische Wissenschaftler müssen weit überlappende Kompetenzen besitzen bzw. erwerben und jeweils in der Lage sein, für die Ergebnisse auch Gesamtverantwortung zu übernehmen.

Unverzichtbarer und meist aufwändigster Bestandteil von Modellierung und Simulation ist die Validierung

bereits vor der Überprüfung bzw. dem Einsatz am Patienten, d. h. vor klinischen Tests bzw. Prüfungen. Die Validierung kann in Ausnahmefällen durch einen ausgedehnten Plausibilitätstest erfolgen, der Regelfall sollte die sorgfältige Überprüfung durch bereits bekannte Ergebnisse und durch eigenständige experimentelle Studien sein. Dies muss sowohl auf der Stufe der physiologischen und technischen Teilmodelle als auch der simulierten Interaktion/Kooperation dieser Systeme geschehen.

Trotz der großen und anerkanntswerten Erfolge der "Apparatemedizin" in der Lebenserhaltung müssen angesichts einer durchschnittlichen Lebensverlängerung von oft nur wenigen Jahren (wie z. B. bei der Dialyse, beim Kunstherzen und in der Onkologie) z. Zt. bei häufig sehr beschränkter Lebensqualität die Ziele weiter gesteckt werden. Langwierige Optimierungsprozesse dürfen nicht ausschließlich am Patienten erfolgen. Zeit- und kostenaufwändige Irrwege (klassisches Beispiel: Suche nach einem das ursprüngliche physiologische Herz-Kreislauf-Funktionssystem wiederherstellenden frequenzadaptiven Herzschrittmacher [Werner1999]), sollte man sich nicht mehr leisten. Die Wege können beträchtlich abgekürzt und effizienter gemacht werden, wenn in solchen Fällen vor der Produktion und dem Einsatz der Geräte und Implantate (z. B. die elektrophysiologischen, hämodynamischen und kreislaufregulatorischen) Aspekte der Kooperation mit den physiologischen Prozessen umfassend durch Simulation analysiert werden.

LITERATUR

[Hunter2001]

P. J. Hunter, D. Bullivant, P. M. F. Nielsen, A. J. Pullan and M. Tawhai, "The IUPS Physiome Project: Progress and Plans" in *International Union of Physiological Sciences (IUPS)*, Auckland, New Zealand, 1-11, 2001

[Schmidt2003]

G. Schmidt, T. Fuhr; R. Riener "Kooperative und interaktive Systeme für die Medizintechnik" in U. Voges, G. Bretthauer, (eds): in *Automatisierungstechnische Methoden und Systeme für die Medizin IV (AUTOMED)*, FZK Karlsruhe, 8-13., 2003

[Werner2005]

J. Werner (ed), *Kooperative und Autonome Systeme der Medizintechnik – Funktionswiederherstellung und Organersatz*, Oldenbourg Verlag, München, in press

[Werner1998]

J. Werner, "Medizinische Mensch-Maschine-Systeme", *Biomed Tech*, 43, Erg.band, 282-285, 1998.

[Werner1999]

J. Werner, M. Hexamer, M. Meine, B. Lemke, "Restoration of cardio-circulatory regulation by rate-adaptive pacemaker systems", *IEEE Trans Biomed Eng* Vol 46, 1057-1064, 1999