

**4. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
26. bis 27. März 2003 in
Karlsruhe**



**„Volumenkontrollierte nicht-invasive Beatmung unter
Berücksichtigung von Maskenleckage und
Spontanatmung“**

F. Dietz, A. Schloßer, D. Abel
Institut für Regelungstechnik, RWTH Aachen, Aachen, Deutschland
E-Mail: F.Dietz@irt.rwth-aachen.de

Copyright: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Band: AUTOMED 2003 - 4 . Workshop "Automatisierungstechnische Methoden
und Systeme für die Medizin"
Editors: U. Voges, G. Bretthauer
ISSN: 0947-8620
Pages: 48-49

Volumenkontrollierte nicht-invasive Beatmung unter Berücksichtigung von Maskenleckage und Spontanatmung

F. Dietz, A. Schloßer, D. Abel

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Institut für Regelungstechnik
Steinbachstraße 54, 52056 Aachen

F.Dietz@irt.rwth-aachen.de

EINLEITUNG

Bei der nicht-invasiven Beatmung (NIV) werden im Heimbereich und immer häufiger auch in der Intensivmedizin üblicherweise druckgeregelter Beatmungsformen eingesetzt. Eine Volumenkontrolle ist aufgrund der prinzipbedingten Leckagen unzuverlässig.

Es wird ein Verfahren zur Identifikation von Lungenparametern und Leckage unter Berücksichtigung der Spontanatmung vorgestellt. Die identifizierte Leckage wird zur automatisierten Leckagekompensation bei der volumenkontrollierten Beatmung genutzt. Zusätzlich besteht erstmals bei der NIV eine Möglichkeit zur Rekonstruktion und Klassifikation der Atemarbeit. So bieten sich Möglichkeiten für verbesserte Therapien und umfangreiche Überwachung während der NIV.

NICHT-INVASIVE BEATMUNG MIT LECKAGE

Bei der NIV wird während der Inspiration i.d.R. ein Beatmungsdruck geregelt, der kein definiertes Atemzugvolumen (AZV) gewährleisten kann. Eine volumenkontrollierte Beatmung mit einstellbarem AZV hat hingegen in einigen Studien bessere Ergebnisse erzielt als die druckkontrollierte NIV [Schönhöfer2002]. Die volumenkontrollierte NIV ist bisher kaum realisierbar, da Verluste an Atemvolumen von über 50% durch Leckagen zu einem unkalkulierbarem Atemzugvolumen führen [Lofaso2000]. Abb. 1 zeigt schematisch ein Beatmungsgerät mit einfachem Schlauch und Nasenmaske. Zwischen Maske und Patientengesicht können auch bei sorgfältig ausgewählter Maske zeitvariante Leckagen ($Q_{Leckage}$) mit relevanter Größenordnung auftreten, wie es auch bei schlafenden Patienten durch einen geöffneten Mund der Fall ist.

Eine Identifikation der Lungenparameter und der Leckage ist im Falle passiver Patienten (keine Spontanatmung) auch für nichtlineare Zusammenhänge möglich [Dietz2002]. Die Kompensation des Volumenverlustes kann dann auch bei sehr einfachen Beatmungsgeräten erfolgen. Bei diesen Geräten mit internen Sensoren für Druck (p_{FS}) und Flow (Q_{FS}) und maskenseitigem Expirationsventil ist die Sensorik während der Expiration sozusagen „blind“, da der Patient während der Expiration direkt zur Umgebung ausatmet (Q_{Exp}). Ein Rückschlagventil schottet das Beatmungsgerät gegenüber dem Patienten ab.

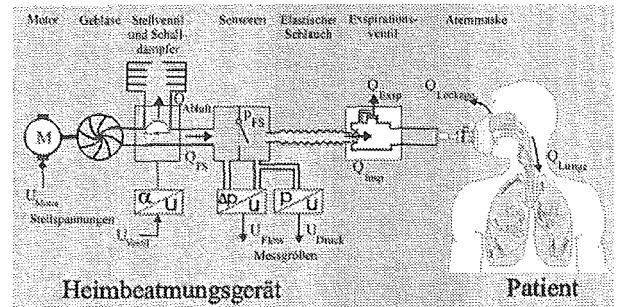


Abb. 1: Skizze von Beatmungsgerät und Lunge

In der Praxis muss die Spontanatmung der Patienten berücksichtigt werden, da diese für gewöhnlich bei Bewusstsein sind und aktiv mit- oder gegenatmen. Als Maß für die Atemanstrengung gilt der transdiaphragmale Druck p_{di} , d.h. die Differenz zwischen gastralem Druck p_{ga} und ösophagealem Druck p_{es} . Allerdings handelt es sich bei der Messung von p_{di} um einen invasiven Eingriff, der zur Gewinnung von Testdaten sinnvoll ist, jedoch für die NIV ausscheidet. Eine Berücksichtigung der Spontanatmung soll also ohne Messung von p_{di} auskommen.

IDENTIFIKATION DER SPONTANATMUNG

Ein Ersatzschaltbild der Atemwege (Abb. 2) zeigt, dass die Atemtätigkeit p_{aktiv} einen Beitrag zum Lungenruck p_{Lunge} und damit zum Flow in die Lunge Q_{Lunge} liefert. Eine Leckageidentifikation muss also auch p_{aktiv} berücksichtigen, wenn es gelingen soll, den Leckageflow ($Q_{Leckage}$) hinreichend zu kompensieren. Zusätzlich erlaubt die Kenntnis über die aktive Atemarbeit eine Beurteilung der Beatmungsqualität.

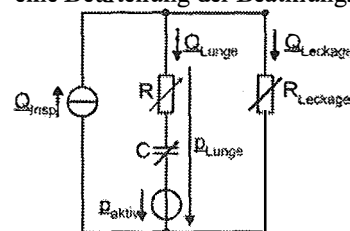


Abb. 2: Elektrisches Ersatzschaltbild für die NIV

Mit bisherigen Verfahren zur parametrischen Identifikation führt der Einfluss der Spontanatmung p_{aktiv} zu falschen Schätzwerten für die Parameter Resistance R ,

Compliance C und Leckage $R_{Leckage}$. Da es sich bei p_{aktiv} um einen willkürlichen, zeitvarianten Beitrag des Patienten handelt, ist die Identifikation eines konstanten Parameters nicht zielführend.

Ein Ansatz zur Bestimmung von Lungenparametern unter Spontanatmung (ohne Leckagen) macht sich bei der druckkontrollierten Beatmung wechselnde Druckniveaus zwischen zwei Atemzügen zunutze [Navajas2000]. Unter der Annahme, dass sich die Atemarbeit des Patienten zwischen den Atemzügen nicht ändert, kann der Anteil der Atemarbeit p_{aktiv} durch Differenzbildung eliminiert werden. Dieser Ansatz wurde für eine Identifikation der Leckage bei volumenkontrollierter Beatmung erweitert. Es ergeben sich für die Druckdifferenz Δp_{Maske} und die Flowdifferenz ΔQ_{insp} zwischen zwei Atemzügen im Bildbereich die Gln.

$$p_{Maske}(s) = \left[p_{aktiv}(s) + Q_{insp}(s) \frac{1+sRC}{sC} \right] \cdot \frac{sR_{Leckage}C}{1+s(R+R_{Leckage})C}$$

$$\Delta p_{Maske}(s) = \Delta Q_{insp}(s) \frac{(1+sRC)R_{Leckage}}{1+s(R+R_{Leckage})C}$$

Als Flowdifferenzen ΔQ_{insp} wurden drei Stufen untersucht und mit Ergebnissen ohne Berücksichtigung der Spontanatmung verglichen (lineare Parameter). In Tab. 1 sind simulierte Ergebnisse mehrerer Identifikationen für 30% Flowdifferenz angegeben. Man kann an Mittelwerten und Standardabweichungen erkennen, dass insbesondere bei Mitatmung deutlich bessere Ergebnisse bei Berücksichtigung der Spontanatmung erzielt werden. Bei Gegenatmung zeigen sich Vorteile insbesondere bei der Bestimmung von C.

Tab. 1: Mehrere Identifikation ohne/mit Berücksichtigung der Spontanatmung. Mittelwerte (Standardabw.)

Referenzwerte	ohne Berücksichtigung		mit Berücksichtigung	
	Mitatm.	Gegenatm.	Mitatm.	Gegenatm.
R (10 mbar/l/s)	0.64 (9.5)	11.5 (0.6)	9.2 (2.5)	9.1 (2.7)
C (0.08 l/mbar)	2.6 (2.7)	0.02 (0.01)	0.05 (0.11)	0.05 (0.11)
R_L (100mbar/l/s)	-1.9 (14.1)	36 (0)	43.6 (3.8)	43.1 (4.0)
Ident.-Varianz	9e-6(4e-6)	1e-5 (3e-6)	2e-5(7e-6)	2e-5 (7e-6)

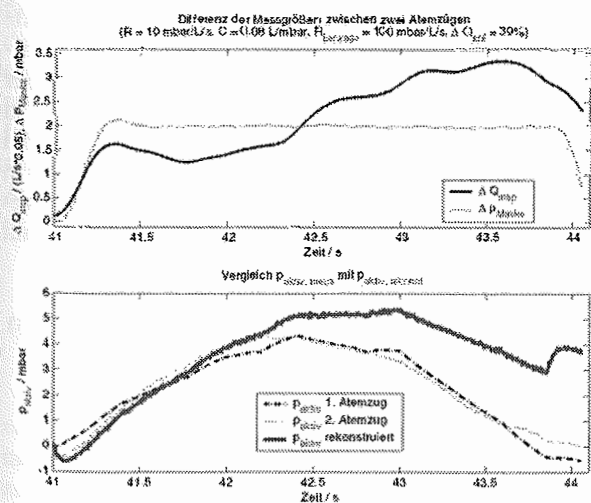


Abb. 3: Parametrische Identifikation von R, C, $R_{Leckage}$ und Rekonstruktion der Spontanatmung p_{aktiv} .

Abb. 3 zeigt für eine Gegenatmung zweier aufeinanderfolgender Inspirationen die Differenzverläufe für Druck Δp_{Maske} und Flow ΔQ_{insp} . Mit den identifizierten Parametern sowie den Daten von Druck und Flow des letzten Atemzuges ergibt sich durch die Rekonstruktion der gezeigte Verlauf für $p_{aktiv, rekonstruiert}$.

Die Implementierung erfolgt dreistufig für jeden Atemzyklus. Während der Inspiration wird eine rekursive Identifikation ohne, während der Expiration eine Identifikation aus gespeicherten Daten mit Berücksichtigung der Spontanatmung durchgeführt. Bei geringerer Varianz des zweiten Ergebnisses wird eine Rekonstruktion der Spontanatmung der vorherigen Inspiration berechnet und eine Klassifikation vorgenommen.

FLOWREGELUNG

Nach einer Überprüfung der identifizierten Parameter auf Plausibilität erfolgt für den jeweils folgenden Atemzug mit der identifizierten Leckage eine Führungsgrößenaufschaltung für Q_{insp} zur Leckagekompensation. Zusätzlich wird eine Führungsgrößenaufschaltung von $\pm \Delta Q_{insp} / 2$ vorgenommen, mit Vorzeichenwechsel nach jedem Atemzug. So kann im Durchschnitt das physiologisch wichtige Atemminutenvolumen sichergestellt werden. Bei Erreichen einer Druckgrenze wird unmittelbar auf eine Druckregelung umgeschaltet, um eine Gefährdung des Patienten auszuschließen.

ZUSAMMENFASSUNG

Für die nicht-invasive Beatmung (NIV) wurde ein Verfahren vorgestellt, welches eine Leckagekompensation auch bei Spontanatmung des Patienten ermöglicht. Damit kann eine volumenkontrollierte Beatmung gewährleistet werden. Das Verfahren eignet sich auch für kostengünstige Beatmungsgeräte, die eine einfache Sensorik innerhalb des Gerätes aufweisen und durch Verwendung von Einschlauchsystemen und Expirationsventilen lediglich eine Messung während der Inspirationsphase erlauben. Zusätzlich ist eine Klassifikation der Spontanatmung möglich. Somit bietet das Verfahren neue Möglichkeiten für die NIV hinsichtlich volumenkontrollierter Beatmung und Patientenüberwachung.

LITERATUR

- [Dietz2002] F. Dietz, A. Schloßer, „Heimbeatmung: Herausforderung volumenkontrollierte Beatmung“ in *Simulationstechnik ASIM 2002*, S. 215-220. – ISBN 3-936150-19-2
- [Lofaso2000] F. Lofaso et al., „Inaccuracy of tidal volume delivered by home mechanical ventilators“, *Eur. Respir. J.* 15, S. 338-341, 2000
- [Navajas2000] D. Navajas et al., „Evaluation of a method for assessing respiratory mechanics during non-invasive ventilation“, *Eur. Respir. J.* 16, S. 704-709, 2000
- [Schönhofer2002] B. Schönhofer, S. Sortor-Leger, „Equipment needs for noninvasive mechanical ventilation“, *Eur. Respir. J.* 20, S. 1029-1036, 2002