

# Computerunterstütztes rückgekoppeltes Beatmungssystem: Validierung eines neuen Beatmungsmodus für eine minimale Druckbelastung

Zappe D., Fabry B., Haberthür C.

Klinische Physiologie, Klinik für Herz- & Thoraxchirurgie, Universitätskliniken, Spitalstr. 21, CH-4031 Basel, Schweiz

## EINLEITUNG:

Ein Grossteil der intensivpflegebedürftigen Patienten ist infolge ungenügender eigener Atemleistung teilweise oder vollständig auf die Unterstützung durch ein Beatmungsgerät angewiesen. Ausgehend von etablierten Vorgaben am Beginn der Beatmung für die Wahl des Beatmungsmodus und für deren Einstellwerte am Beatmungsgerät erfolgt die weitere Anpassung anhand der Reaktionen eines Patienten auf die Änderung dieser Einstellwerte. Dabei werden die notwendigen Einstellungen am Beatmungsgerät vom behandelnden Arzt-/Pflegeteam vorgenommen, womit der Regelkreis Beatmungsgerät-Patient-Beatmungsgerät geschlossen wird.

Die Regelstrecke Beatmungsgerät-Patient ist von zwei Grössen abhängig, einerseits von den Eigenschaften des Beatmungsgerätes und des gewählten Beatmungsmodus und andererseits von den individuellen Gegebenheiten des Patienten. Während bestehende Beatmungsmodi weiter verbessert werden können, lassen sich die individuellen Gegebenheiten des Patienten nur über seinen Heilungsprozess beeinflussen. Die rückführende Regelstrecke im Regelkreis Beatmungsgerät-Patient-Beatmungsgerät wird in der Regel (sieht man von einer automatisierten Notfallbeatmung beim Auftreten eines Atemstillstandes ab) ausschliesslich vom behandelnden Arzt-/Pflegeteam gebildet und ist deshalb von dessen klinischen Erfahrung und von dessen zeitlichen Ressourcen abhängig. Das führt dazu, dass die Beatmungsdauer unnötig verlängert und damit das Auftreten ihrer potentiellen Nebenwirkungen erhöht werden kann. Zudem können neue Messmethoden zur Erfassung relevanter atemmechanischer und atemregulatorischer Determinanten, welche eine Optimierung und insbesondere eine individuelle Anpassung der Beatmung ermöglichen, mangels Erfahrung überhaupt nicht oder mangels Zeit nicht regelmässig durchgeführt werden.

Um die Beatmungstherapie zu verbessern und insbesondere, um sie an die individuellen Gegebenheiten eines Patienten optimal anzupassen, sind deshalb folgende Voraussetzungen unabdingbar: 1) ein von technischen Unzulänglichkeiten weitestgehend befreiter Beatmungsmodus, 2) die Kenntnis von bestehenden und die Erarbeitung neuer atemmechanischer und atemregulatorischer Determinanten sowie deren zuverlässige und regelmässige Messung während der Beatmung 3) die Einbindung dieser Determinanten in ein Beatmungskonzept und 4) die Rückmeldung der Patientenreaktion an das Beatmungsgerät in Form einer rückgekoppelten Beatmung, welche zusammen mit dem Beatmungskonzept eine automatisierte Beatmung erlaubt.

Wir stellen im Folgenden ein rückgekoppeltes Beatmungssystem vor, welches im Unterschied zu anderen rückgekoppelten Beatmungssystemen [1] auf einem neuen, von technischen Unzulänglichkeiten weitgehend befreiten

Beatmungsmodus basiert und zeigen die mit diesem System gewonnenen ersten Resultate hinsichtlich einer für die Optimierung der Beatmung determinierenden Grösse.

## METHODEN:

Konzept eines neuen Beatmungsmodus für die Spontanatmung. Herkömmliche Modi zur Unterstützung spontanatmender, intubierter Patienten weisen eine oder mehrere modusbedingte Nachteile auf, welche gerade für schwerkranke Patienten von erheblichem Nachteil sein können. Diese Nachteile sind 1) die zusätzliche, vom Patienten aufzubringende Atemarbeit infolge Vernachlässigung der Flussabhängigkeit des Tubuswiderstandes, 2) die Abhängigkeit von einem Triggerkriterium für die In- und Expiration, was zu Desynchronisation zwischen Patient und Beatmungsgerät und zu Fehltriggerungen führen kann, und 3) die Diskrepanz zwischen der uniformen Druckunterstützung und dem variablen Atemmuster des Patienten. Mit dem neuen Modus "Proportional Assist Ventilation, PAV" wird der Patient hinsichtlich seines elastischen Atemwiderstandes proportional zu dem von ihm geforderten Atemhubvolumen (VPPS) und hinsichtlich seines resistiven Atemwiderstandes proportional zu dem von ihm geforderten Gasfluss (FPPS) unterstützt. Während mit PAV Desynchronisation und Fehltriggerungen vermieden werden und sich die vom Beatmungsgerät gelieferte Druckunterstützung den Bedürfnissen des Patienten anpasst, kann PAV die durch den Tubuswiderstand verursachte zusätzliche Atemarbeit nicht ausreichend kompensieren. Dies wird jedoch mit dem von uns entwickelten Modus "Automatic Tube Compensation, ATC" ermöglicht, welcher den flussabhängigen nicht-linearen Druckabfall über dem Tubus in In- und Expiration vollständig kompensieren kann ("elektronische Extubation").

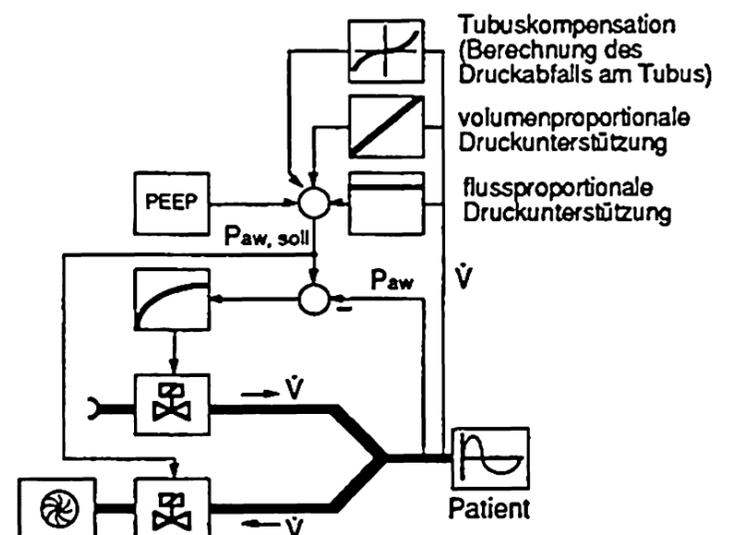


Abb. 1: Prinzip des neuen Beatmungsmodus ATC/PAV.

Die dem neuen Modus ATC/PAV zugrundeliegenden theoretischen Überlegungen und deren technische Realisierung in einem handelsüblichen Beatmungsgerät wurden in [2]

vorgestellt, das Prinzip ist in der Abbildung 1 und im Blockschaltbild der Abbildung 2 zusammengefasst.

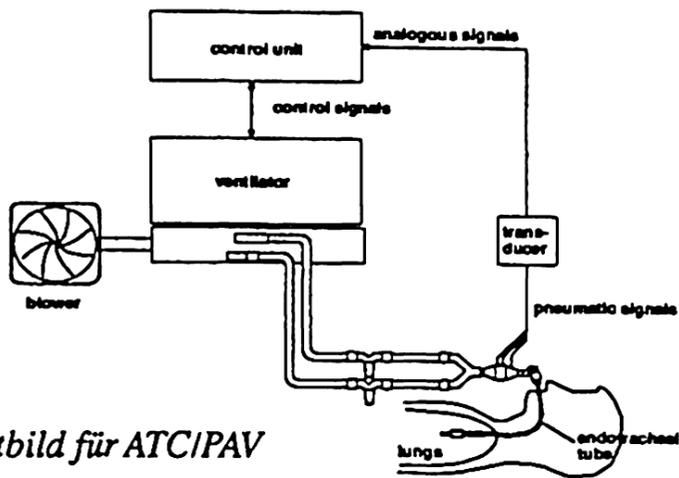


Abb. 2:  
Blockschaltbild für ATC/PAV

**Rückgekoppelte Beatmung.** Das Prinzip und die technische Realisierung von ATC/PAV, wie sie im Blockschaltbild der Abbildung 2 dargestellt sind, legen mit ihrer patientennahen Messung und ihrer offenen Architektur die Realisierung einer rückgekoppelten Beatmung nahe. Sie wird ermöglicht, indem die externe Steuereinheit (control unit in Abb. 2 und 3) von einem DOS-kompatiblen Personalcomputer angesteuert wird. Am PC lassen sich die Messmanöver zur Bestimmung wichtiger atemmechanischer und atemregulatorischer Determinanten und die zeitliche Abfolge für deren Messung einfach programmieren. Die Integration dieser Determinanten in Unterprogrammen zur Optimierung einzelner Beatmungsparameter bilden zusammen mit der kontinuierlichen Erfassung relevanter Messwerte das Grundgerüst einer zukünftigen Beatmungsstrategie. Neben den in der externen Steuereinheit programmierten Beatmungsmodi ATC und PAV können auch alle andere Modi in das Konzept der rückgekoppelten Beatmung integriert werden. Bisher wurde neben ATC und PAV auch der Modus "triggered Inspiratory Pressure Support, IPS" implementiert.

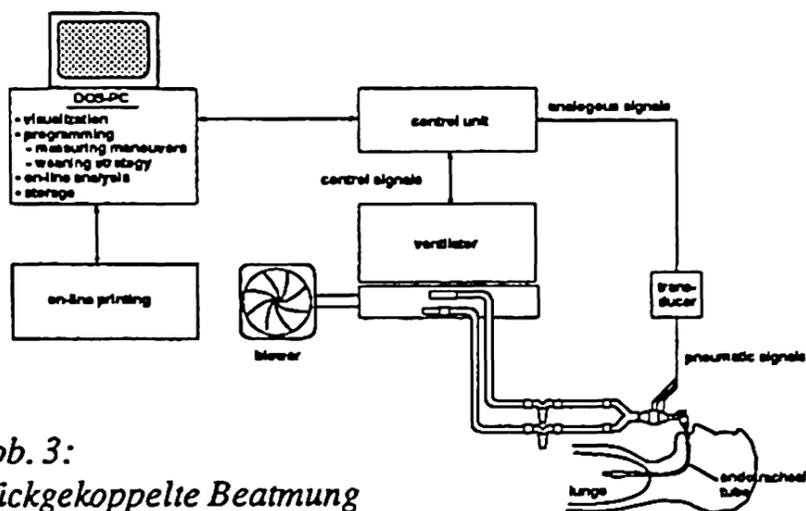


Abb. 3:  
Rückgekoppelte Beatmung

**Anwendung.** Die Modi IPS, ATC/FPPS und ATC/VPPS sollen bei intubierten Patienten hinsichtlich einer ihrer Nebenwirkungen, nämlich der endinspiratorischen Druckbelastung, untersucht werden. Um eine zuverlässige Aussage zu erhalten, muss 1) ein Parameter verwendet werden, der die Vergleichbarkeit der vom Prinzip her unterschiedlichen Beatmungsformen ermöglicht, 2) darf die Untersuchung zur Vermeidung von sekundären Adaptationsvorgängen jeweils nur kurze Zeit dauern, und 3) muss die Untersuchung wegen des variablen Atemmusters des Patienten mehrmals wiederholt werden. Als Parameter wurde die atemzugsweise berechnete, auf das aktuelle Atemhubvolumen normierte Differenz zwischen der

dem Patienten effektiv vom Beatmungsgerät abgenommenen Atemarbeit ( $WOB_{red}$ ) und der vom Patienten infolge des Tubuswiderstandes zusätzlich zu erbringenden Atemarbeit ( $WOB_{add}$ ) herangezogen. Die Vergleichbarkeit der drei Beatmungsformen wurde gewährleistet, indem die Druckunterstützung (FPPS, VPPS, IPS) automatisch so angepasst wurde, dass in jedem der drei Modi die Differenz zwischen  $WOB_{red}$  und  $WOB_{add}$  konstant blieb. Um sekundäre Adaptationsvorgänge zu vermeiden, wurde nach jeweils 30 Sekunden in den nächsten Modus gewechselt. Die atemzugsweise gemessenen Werte aus insgesamt 5 Durchgängen wurden gemittelt, wobei die Atemzüge, welche während eines Moduswechsels erfolgten, von der Analyse ausgeschlossen wurden. Die Untersuchung wurde bei 20 intubierten, spontanatmenden Patienten durchgeführt.

#### RESULTATE:

Trotz teilweise stark variablem Atemmuster der Patienten konnte über die rückgekoppelte Beatmung die Differenz zwischen  $WOB_{red}$  und  $WOB_{add}$  in allen drei Modi konstant gehalten werden. Ausgehend von ATC/FPPS betrug ihre mittlere prozentuale Abweichung bei ATC/VPPS 7 % und bei IPS 3 %. Auf der Grundlage einer konstanter Atemarbeit pro 1 L Atemhubvolumen konnten jetzt die drei unterschiedlichen Modi ATC/FPPS, ATC/VPPS und IPS hinsichtlich der trachealen endinspiratorischen Druckbelastung verglichen werden. Diese betrug bei ATC/FPPS  $4.8 \pm 2.5$  mbar (100 %), bei ATC/VPPS  $8.7 \pm 2.6$  mbar ( $205 \pm 60$  %) und bei IPS  $9.3 \pm 3.2$  mbar ( $217 \pm 69$  %) über PEEP.

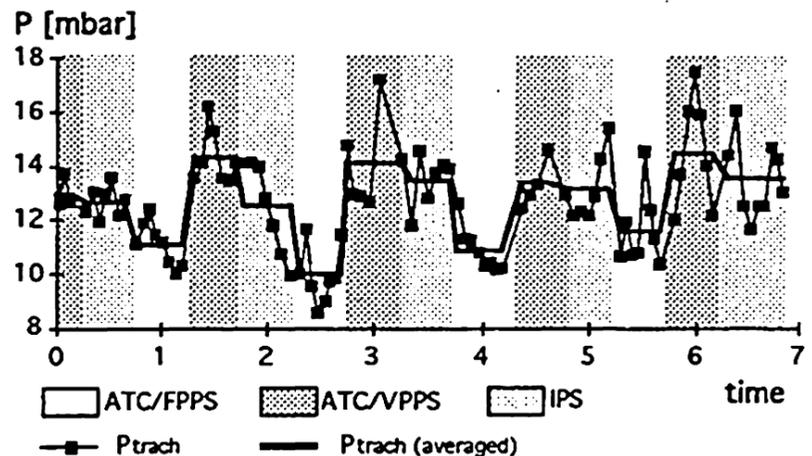


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf des trachealen Spitzendrucks bei einem Patienten nach Herzoperation.

#### ZUSAMMENFASSUNG:

Die rückgekoppelte Beatmung ermöglicht eine individuelle Anpassung der Beatmung an die Bedürfnisse der Patienten. Sie führt zusammen mit den Vorteilen der neuen, von technischen Unzulänglichkeiten weitgehend befreiten Modi ATC und PAV zu einer Optimierung der Beatmung und bildet so die Grundlage für eine automatisierte Beatmungsstrategie.

#### LITERATUR:

- [1] Laubscher TP, Heinrichs W, Weiler N, Hartmann G, Brunner JX. An adaptive lung ventilation controller IEEE Trans Biomed Eng 41:51-59; 1994
- [2] Fabry B, Guttmann J, Eberhard L, Wolff G. Automatic compensation of endotracheal tube resistance in spontaneously breathing patients. Technology and Health Care 1: 281-291; 1994.