



Leichter atmen

Messung neuraler Impulse macht künstliche Beatmung komfortabler

Wenn wir atmen wollen, atmen wir. Normalerweise. Wie allerdings weiß ein künstliches Beatmungssystem, wann der Patient wie viel Luft braucht? Mechanische Eingriffe sind für den Patienten beschwerlich, und um die Unannehmlichkeiten auf ein Minimum zu reduzieren, muss die Maschine so früh wie möglich auf den Atmungseinsatz des Patienten reagieren.



Wie wir atmen

Die Atmung wird vom Atemzentrum im Gehirn gesteuert. Der Impuls fließt durch die Nerven des Zwerchfells und regt die Muskelzellen an, so dass sich die Muskeln zusammenziehen und sich das Zwerchfell senkt. Als Folge fällt der Druck in den Atemwegen und Luft strömt in die Lungen.

Herkömmliche künstliche Beatmung

Herkömmliche mechanische Ventilation erfasst den Atemeinsetz des Patienten entweder durch den Druckabfall in den Atemwegen oder die Umkehrung des Luftstroms. Mit anderen Worten dient also der letzte und am langsamsten reagierende Schritt im Atmungsprozess dazu, die Atemarbeit des Patienten zu erfassen. Der Patient muss agieren, bevor die Ventilation einsetzt.

Besonders für geschwächte Patienten ist das sehr anstrengend. Da herkömmliche Beatmungsgeräte relativ spät einsetzen, kommt es zu einer leichten Asynchronität zwischen Mensch und Maschine. Das führt bei Patienten zu Unbehagen und Unruhe. Allerdings sollte eine Ventilation, die die gesamte Atmung übernimmt, so lange wie möglich vermieden werden, um die eigene Atmungsfähigkeit des Patienten zu erhalten und die Spontanatmung zu fördern.

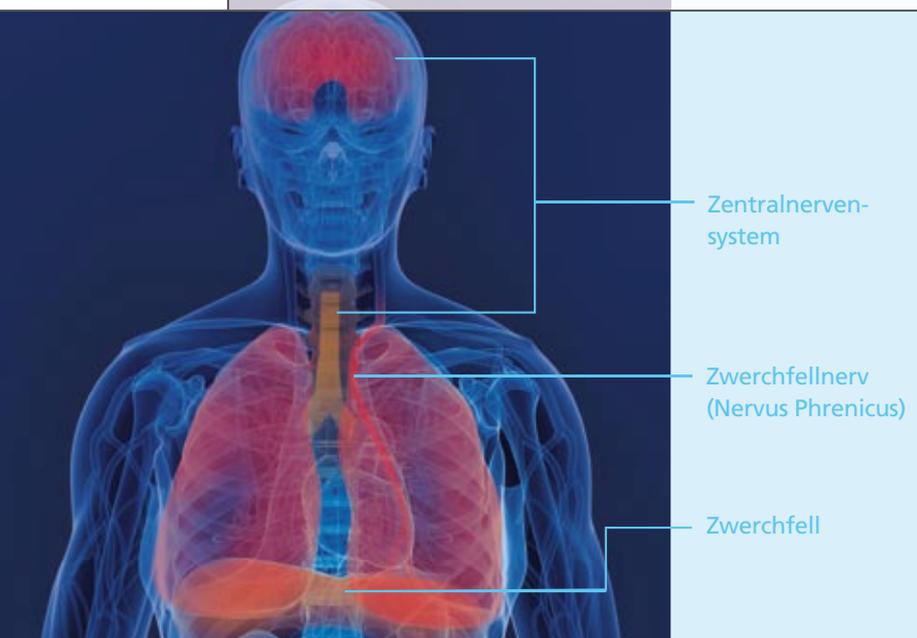
NAVA (Neurally Adjusted Ventilatory Assist)

Um die künstliche Beatmung zu verbessern und für den Patienten angenehmer zu machen, haben wir bei Maquet einen neuen Ansatz zur Erkennung des menschlichen Atmungsreflexes entwickelt. Anstatt den Atemwegsdruck zu messen, verwenden wir eine Elektrodenmatrix, um die elektrische Aktivität des Zwerchfells zu erfassen (Abbildung 1). Das elektrische Rohsignal, das auf einer einzelnen Elektrode gemessen wird, heißt EMG (**e**lectro**m**yography). Dieses EMG verarbeitet die Signale, um das sogenannte Edi-Signal zu erhalten, das nur das zwerchfellbezogene Signal enthält. Das Edi-Signal wird an die Ventilation übertragen und dafür verwendet, die Atmung des Patienten zu unterstützen. Auf diese Art kann die Maschine schneller auf die Bedürfnisse des Patienten reagieren. Da die Ventilation und das Zwerchfell mit demselben Signal arbeiten, ist deren mechanisches Ineinandergreifen quasi gleichzeitig. Das Aktivierungssignal des Zwerchfells ist das frühestmöglich erkennbare Signal, das wir mit heutiger Technologie verwenden können (Abbildung 2).

NAVA testen

Die Schlüsseltechnologie von NAVa ist die Signalverarbeitung auf dem EMG. Um den EMG-Algorithmus und seine





Zentralnervensystem

Zwerchfellnerv (Nervus Phrenicus)

Zwerchfell

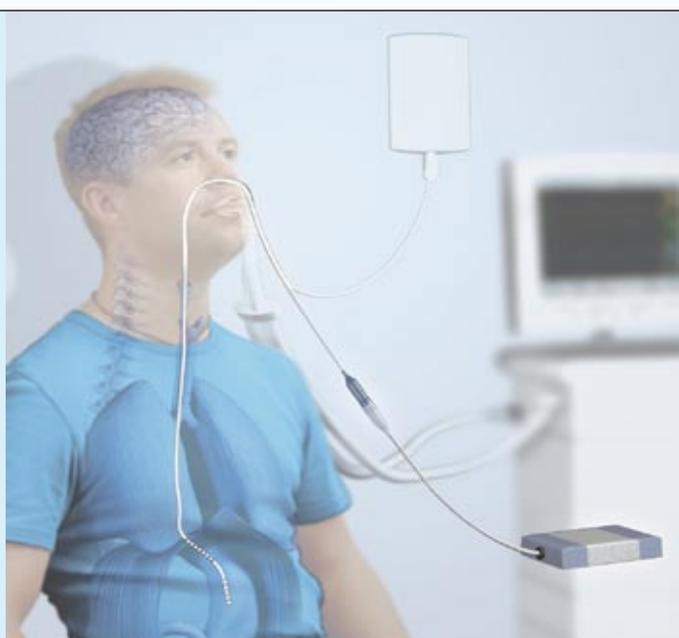


Abbildung 1: Anschluss von NAVA am Patienten.

Interaktion mit der SERVO-i-Ventilation zu testen, verwendeten wir folgenden Laboraufbau (Abbildung 3):

- Ein Katheter, der die gemessenen EMG-Signale bereitstellt, oder einen Simulator, der die EMG-Signale als Atmungsimpulse simuliert.
- Ein dSPACE DS1005 PPC Board für die Verarbeitung der EMG-Signale.
- Die SERVO-i-Ventilation zur Regelung der künstlichen Beatmung.

3. Simulierte Eingabe eines Software-Modells: Es war als Simulink®-Modell implementiert und wurde mit dSPACE ControlDesk gesteuert.
4. Dateien mit Patientenaufzeichnungen: Die Dateien werden vom PC gelesen und in Form von C-Lib-Funktionen in Echtzeit an die dSPACE-Hardware übertragen. Ausgewählt werden die Dateien in ControlDesk. Alle unterschiedlichen Signale ent-

AVD Board, empfängt diese Signale. Das DS1005 PPC Board wird mit dem EGM-Algorithmus für die Signalverarbeitung und die Generierung des Edi-Signals eingesetzt. Das SERVO-i empfängt das analoge Edi-Signal vom DS2102 D/A Board. Das Signal dient als Triggersignal, aber auch dazu, den Patienten durch die Bereitstellung von Sauerstoff und Luftdruck im Verhältnis zur Edi-Signalamplitude zu unterstützen.

„Mit dem dSPACE-System konnten wir leicht einen Prototyp erstellen und so den Entwicklungsprozess beschleunigen.“

Fredrik Jalde, Maquet Critical Care AB

Um das System zu simulieren, können wir vier verschiedene Eingaben verwenden:

1. Reale Eingabe durch einen Patienten oder Freiwilligen: Dazu wird ein Katheter in die Speiseröhre eingeführt und so das EMG-Signal des Zwerchfells erfasst. Als Alternative zu realen Personen haben wir ein System mit einer Wasserröhre und zwei mit einem iPod verbundenen Drähten. Der iPod generiert zwei Stereosignale für die Wasserröhre und stellt so die EMG- und ECG-Signale bereit.
2. Simulierte Eingabe eines Hardware-Simulators: Ein Signalgenerator liefert ein Sinussignal mit ca. 200 Hz.

halten Informationen zur Ein- und Ausatmung sowie zur gewünschten Einatemungskraft. Die modulare Hardware von dSPACE, ein DS2002

Mit der dSPACE-Test- und Experimentiersoftware ControlDesk erstellen wir eine grafische Oberfläche für die Entwicklung und die Tests. So konnten wir auf einfache Art und Weise mit dem Reglermodell arbeiten und es verändern, zum Beispiel um die Atmungsmodelle auszuwählen oder deren Einstellungen vorzunehmen, sowie zwischen simulierten und gemessenen EMG-Signalen wählen.

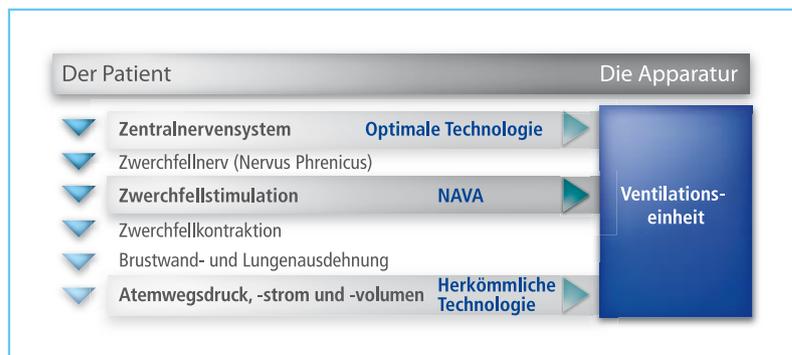


Abbildung 2: Durch die elektrische Aktivität des Zwerchfells erfasst die NAVA-Technologie das frühestmöglich erkennbare Einatemungssignal.

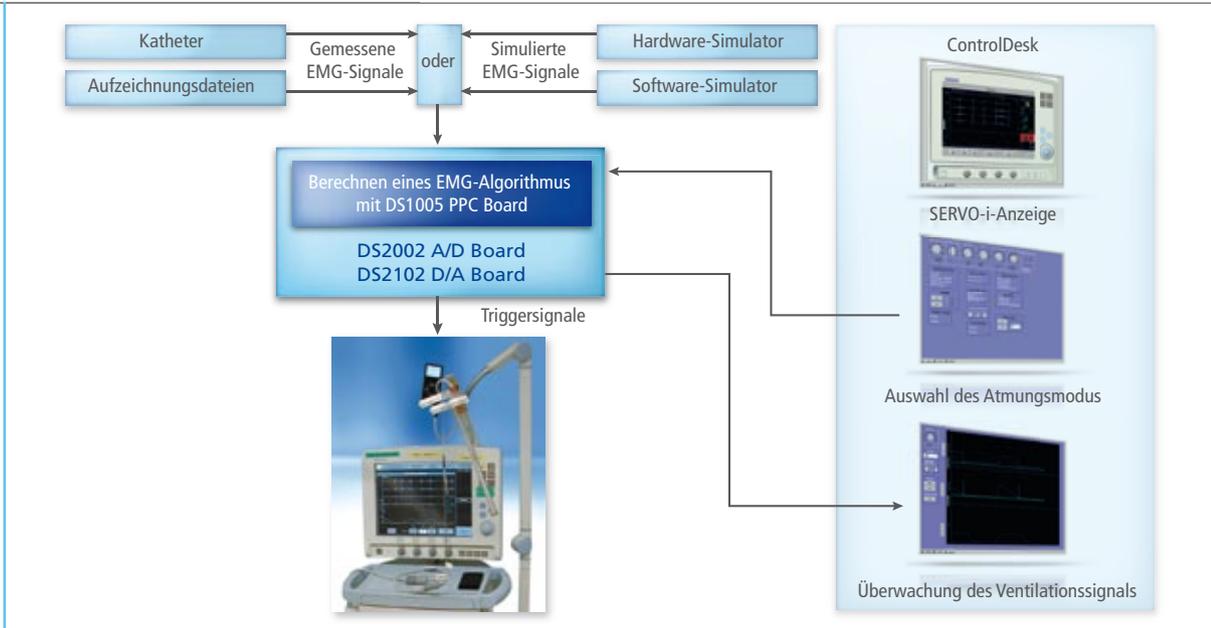


Abbildung 3: Schematischer Laboraufbau für das NAVA-Entwicklungssystem.

Zudem waren wir in der Lage, die gemessenen Ventilationssignale zu verfolgen. Am wichtigsten war das dSPACE-System für die Arbeit mit den Algorithmen zur Signalverarbeitung für das EMG-Signal und zum Aufbau des Prototyps zum Testen, ohne die SERV-i-Ventilation anpassen zu müssen.

NAVA im täglichen Einsatz

Die NAVA-Technologie ist zusammen mit dem Edi-Modul und dem Edi-Katheter eine Erweiterung unserer SERV-i-Ventilation. Der Anwender muss so kein komplett neues Ventilationssystem erwerben. Wichtiger sind allerdings die Vorteile für die Patienten, die sich bisher in der täglichen Anwendung gezeigt haben:

- **Verbesserte Synchronität:** In NAVA reagiert die Ventilation, sobald die neurale Einatmung einsetzt. Zudem wird der Grad der Unterstützung bei der Einatmung durch das individuelle Atemzentrum des Patienten bestimmt. Dasselbe gilt für das Ausatmen: Die Ventilation fährt die Beatmung herunter, sobald das Ausatmen einsetzt. Durch den Einsatz des Edi-Signals konnte die Synchronität zwischen Patient und Ventilation verbessert werden.
- **Schutz der Lunge:** Mit NAVA wird der Grad der Unterstützung durch das Atemverhalten des Patienten

bestimmt. NAVA vermeidet Über- oder Unterversorgung.

- **Komfort für Patienten:** Mit NAVA werden die Atemmuskulatur und die Ventilation vom selben Signal gesteuert. Die bereitgestellte Unterstützung entspricht den neuronalen Anforderungen. Diese Synchronität zwischen Patient und Ventilation minimiert Unbehagen und Unruhe beim Patienten und fördert die Spontanatmung.
- **Entscheidungshilfe für weniger Unterstützung und Extubation:** Das Edi-Signal dient als Indikator, um den

Grad der Unterstützung der Ventilation einzustellen und die Entwöhnung zu optimieren. Wenn sich die Verfassung des Patienten bessert, sinkt die Edi-Amplitude, was zu einer Verminderung des von der Ventilation bereitgestellten Drucks führt. Dieser Druckabfall dient zur Entscheidung, ob der Patient von der künstlichen Beatmung entwöhnt oder diese ganz abgesetzt werden kann. ■

*Fredrik Jalde
Control Engineer Mechatronics
Maquet Critical Care AB
Schweden*

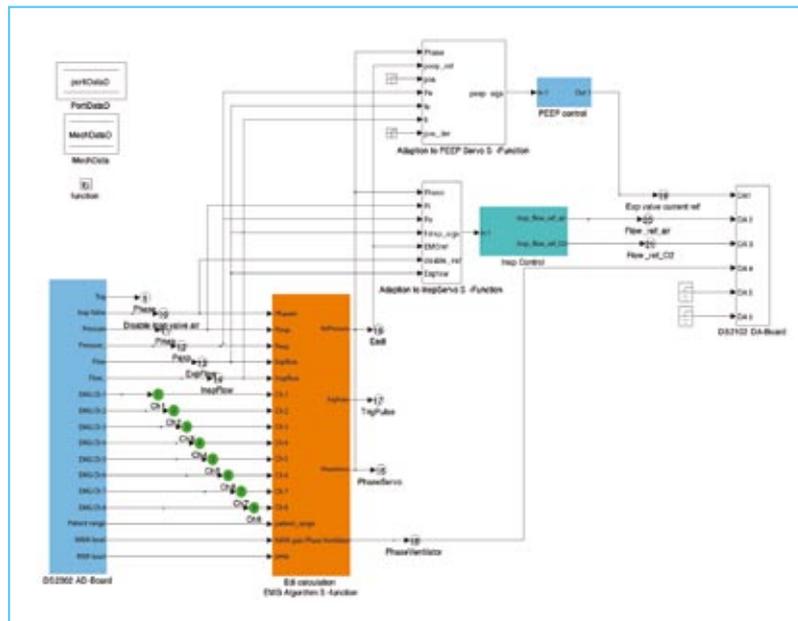


Abbildung 4: Simulink-Modell zur EMG-Steuerung des SERV-i.