



## Evolution der Beatmung

#### Wichtiger Hinweis

Die Erkenntnisse der Medizin unterliegen laufendem Wandel durch Forschung und klinische Erfahrung. Der Autor dieser Fibel hat große Sorgfalt darauf verwendet, daß die Angaben insbesondere über Applikation und Wirkungsweise dem derzeitigen Wissenstand entsprechen. Das entbindet den Leser jedoch nicht von der Verpflichtung, klinische Maßnahmen in eigener Verantwortung zu treffen.

#### Anschrift des Autors

Dr. Ernst Bahns  
Drägerwerk  
Aktiengesellschaft  
ab September 1997:  
Dräger Medizintechnik GmbH  
Moislinger Allee 53-55  
23542 Lübeck

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung, behält sich die Drägerwerk AG vor. Ohne schriftliche Genehmigung durch die Drägerwerk AG darf kein Teil des Werkes in irgendeiner Form reproduziert oder gespeichert werden.

ISBN 3-926762-17-9

# **Die Evolution der Beatmung – vom Pulmotor zur Evita**

**Eine Fibel zur Beatmung mit Evita**

---

# Inhalt

## Einleitung

- Eine Evolution in hundert Jahren 6
- Qualitätsmerkmale eines Beatmungsgerätes 8

## Geschichte der Beatmung

- Die »Stunde Null«  
in der maschinellen Beatmung 10
- Pionierzeit der Beatmung: »Die Eiserne Lunge« 12
- Anfänge in der Intensivbeatmung:  
Die Assistenten 14
- Moderne Intensivbeatmung:  
Vom Spiromat zur Evita 16
- Die Rolle des Therapeuten 18
- Beatmung und Atmung 20

## Beatmungsverfahren

- Drei Probleme der maschinellen Beatmung 22
- Druckbegrenzte Beatmung mit dem UV-1 24
- Neue Beatmungstechnik mit EV-A 26
- Einfach und offen für Spontanatmung: BIPAP 28
- Druckoptimiert und offen für Spontanatmung:  
AutoFlow 30
- Spontanatmung: Eine Evolution für sich allein 32
- Die Anpassung der Unterstützung  
an die Spontanatmung 34
- Tendenzen in der Evolution  
der Beatmungsverfahren 36

<b>Monitoring</b>	
■ Vom Meßinstrument zum Beatmungsmonitor	38
■ Von der Momentaufnahme zur Trendanalyse	40
■ Vom Lehrmeister zum Diagnoseassistent	42
■ Beatmungsmonitoring im Computerzeitalter	44
<b>Bedienung</b>	
■ Leistungsumfang und Bedienung	46
■ Leistung stark, Bedienung einfach – ein Widerspruch?	48
<b>Zusammenfassung</b>	
■ Beatmung ohne Beatmungsgerät?	50
Literaturverzeichnis	52

## Eine Evolution in hundert Jahren.

Die Evolution beschreibt eine stammesgeschichtliche Entwicklung des Lebens von einfacher zur hochentwickelten Form. Die Evolutionstheorie besagt, daß das heute existierende Leben sich stetig aus sich selbst entwickelt hat. Sie beschreibt also nicht nur, daß etwas so ist, wie wir es gerade wahrnehmen, sondern sie sagt auch, warum das so ist. Durch die Ermittlung der Ursachen kann uns die Evolution Einblicke in Wege verschaffen, die die Entwicklung künftig gehen wird.

Diesem theoretischen Ansatz folgt die vorliegende Broschüre in der Darstellung einer Evolution der Beatmung. Es werden somit nicht nur historische Fakten dargestellt, sondern es werden gleichzeitig die Ursachen von Entwicklungen beleuchtet und dabei gezeigt, in welche Richtung sich die Beatmung entwickeln kann.

Es gibt gute Gründe, sich kritisch mit der Evolution der Beatmung auseinanderzusetzen, denn nicht nur in der Biologie, auch in der Medizin bedeutet Entwicklung nicht unbedingt gleichzeitig Fortschritt.

Grenzen des medizinischen Fortschrittes

Ganz analog zur Biologie mit ihrer Überproduktion an Arten läßt sich in der Medizin ein Überfluß an technischen Möglichkeiten erkennen.

Ganz analog zur Biologie, in der die Grenzen des Wachstums durch die Endlichkeit des zur Verfügung stehenden Lebensraumes bestimmt werden, gibt es Grenzen in der Medizin. Die Grenzen werden hier jedoch durch Ethik und Ökonomie festgelegt: nicht alles, was technisch machbar ist, ist moralisch vertretbar und nicht alles ist bezahlbar.

Der Beginn der künstlichen Beatmung war durch eine nahezu kritiklose Begeisterung für neue Technologien geprägt. Das Ergebnis zeigte sich in einer nicht mehr übersehbaren Komplexität.

Die Grenzen der Evolution in der Beatmung hingegen sind uns erst in jüngster Zeit bewußt geworden. Heute werden neue Technologien nicht mehr kritiklos in der Beatmung umgesetzt: Künftige Entwicklungen sollen zielorientiert und nicht mehr nur technologiegesteuert verlaufen.

Zielorientierte Entwicklung  
anstelle von Technologie-  
steuerung

Die vorliegende Broschüre soll nicht nur von der Vergangenheit berichten, sondern auch einen Beitrag zur Diskussion um die Zukunft der Beatmung leisten. Unter dem Gesichtspunkt der Evolution soll Beatmung so dargestellt werden, daß nicht nur das medizinische und technische Fachpersonal, sondern alle Interessierten etwas davon mitnehmen können und sich an der Diskussion um die Entwicklung der Beatmung beteiligen können.

Mit dem Anspruch, auch denjenigen die Beatmung zu veranschaulichen, die nicht tagtäglich damit zu tun haben, ist es unumgänglich, Grundlagen darzustellen, die dem sachkundigen Leser bereits geläufig sind.

Die Tatsache, daß die Evolution ausschließlich am Beispiel der Dräger-Beatmung dargestellt wird, soll nicht verschleiern, daß es auch andere gab, die wesentliche Beiträge zur Evolution der Beatmung leisteten. Der Einfachheit halber jedoch beschränkt sich die vorliegende Fibel ausschließlich auf die Beatmung aus dem Hause Dräger.

Nach einer kurzen Darstellung der Grundelemente eines Beatmungsgerätes wird die Geschichte der Beatmung in Auszügen wiedergegeben, soweit sie für die Evolution von Bedeutung ist. Die Geschichte beginnt bei uns mit einer Idee unseres Firmengründers Heinrich Dräger ...

# Qualitätsmerkmale eines Beatmungsgerätes.

Beatmung ist Unterstützung oder Ersatz einer gestörten Eigenatmung. Eine einfache Form der Beatmung ist die Atemspende von Mund-zu-Mund. Die technischen Hilfsmittel zur Beatmung reichen vom manuell betriebenen Beatmungsbeutel bis zum modernen Beatmungsgerät unserer Zeit.

Drei Merkmale bestimmen die Qualität:

Die Leistungsfähigkeit eines Beatmungsgerätes hängt in erster Linie von drei Merkmalen ab. Sie wird bestimmt durch die Qualität der Beatmungsverfahren, der Beatmungsüberwachung (Monitoring) und des Bedienkonzeptes. Diese Grundelemente eines Beatmungsgerätes sollen zunächst in ihrer Entwicklung näher beschrieben werden, bevor in den folgenden Seiten die Entstehung der ersten Beatmungsgeräte dargestellt wird.

Beatmungsverfahren

In den Beatmungsverfahren konzentrierte man sich zunächst auf eine kurzfristige Atemgasversorgung bei Ausfall der patienteneigenen Atmung. Die ersten Beatmungsgeräte waren reine Notfallbeatmungsgeräte. Bei längeren Behandlungen belasteten die zur Lebenserhaltung eingesetzten Beatmungsverfahren die Lunge jedoch so sehr, daß eine Rückkehr zur normalen Atmung recht schwierig wurde. Eine Anpassung der Beatmungsverfahren an die Physiologie wurde zunächst durch Hilfseinrichtungen erreicht, die die schädlichen Auswirkungen der Beatmung begrenzen konnten und vom fachkundigen Personal gezielt eingesetzt wurden. Erst seit jüngster Zeit gibt es Beatmungsverfahren, die eine automatische Anpassung der Beatmung an den Patienten erlauben.

Beatmungsmonitoring

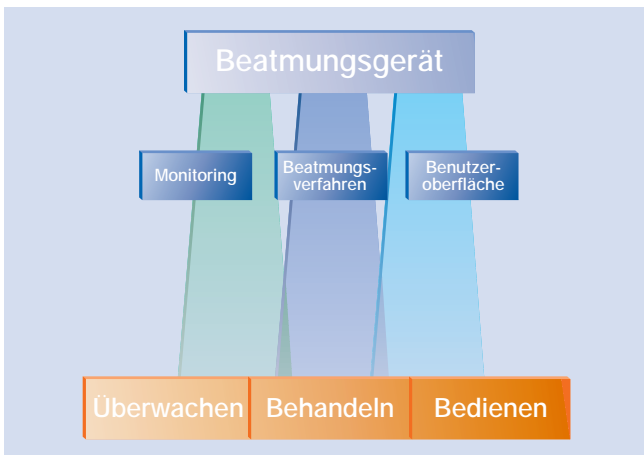
Die Überwachungseinrichtungen der ersten Beatmungsgeräte beschränkten sich auf Atemwegsdruckmessungen und einfache Gerätefunktionskontrollen. Umfangreichere Zusammenhänge konnten



erst später durch zusätzliche Monitore erkannt werden. In der Folgezeit wurden Überwachungsfunktionen zunehmend integrierter Bestandteil der Beatmungsgeräte. Ein besonderer Fortschritt ließ sich dabei in der Qualität der Informationsdarstellung von einfacher Meßwertanzeige bis zur Bildschirmdarstellung erkennen.

Die Gesamtheit der zur Bedienung eines Beatmungsgerätes notwendigen Elemente bezeichnet man als Benutzeroberfläche. Aufgrund des zunehmenden Leistungsumfanges der Geräte ist auch deren Bedienung immer komplexer und leider auch komplizierter geworden. Die Anzahl der Bedienelemente hat dabei stetig zugenommen. Erst in jüngerer Zeit ist hier ein qualitativer Fortschritt gelungen: Die Einstellung der Gerätefunktionen über eine Bildschirmoberfläche ermöglicht eine Zunahme des Leistungsumfanges bei gleichzeitiger Vereinfachung der Bedienung.

Bedienkonzept



Qualitätsmerkmal

Anwieldernutzen

## Die »Stunde Null« in der maschinellen Beatmung.

In seiner Publikation »Das Werden des Pulmators« (6) dokumentierte Heinrich Dräger seine Überlegungen zur Entwicklung eines Beatmungsgerätes. Er skizzierte darin eine einfache Technologie zum »Einblasen von Frischluft oder Sauerstoff in die Lunge«. Sein Pulmotor wurde durch ein modifiziertes Uhrwerk gesteuert.

Heinrich Dräger



Ur-Pulmotor

Bemerkenswert ist diese Veröffentlichung weniger wegen der dort beschriebenen Technologie. Die mag nach heutigen Erkenntnissen recht einfach erscheinen und war auch damals nicht unumstritten. Viel wichtiger ist die Begründung, die H. Dräger für die Wahl seiner Technologie gab.

Er wählte für seinen Apparat ein technisches Prinzip, das die Physiologie so naturgetreu wie möglich ersetzt. Mit diesem Konzept der künstlichen Beatmung war er seiner Zeit um Jahrzehnte voraus.

Künstliche Beatmung als Ersatz für eine biologische Funktion

Für H. Dräger war die physiologische Funktion, die es zu ersetzen galt, eine regelmäßige Bewegung des Atemapparates mit einem konstanten Zeitverlauf. Deshalb wählte er für seine Beatmungsmaschine ein technisches Prinzip, bei dem Ein- und Ausatemphase während der künstlichen Beatmung unverändert blieben. Die Beatmung war nach unserem heutigen Verständnis zeitgesteuert.

Der Rest der Welt, wie übrigens auch diejenigen, die den Pulmotor weiterentwickelten, folgten einem anderen Weg. Sie wählten zur Steuerung der Atemphasen ein technisches Prinzip, das nach Erreichen bestimmter Beatmungsdrücke auf Aus- bzw. auf Einatmung umschaltete. Derartige Systeme nennt man druckgesteuert.

Druckgesteuerte Beatmungsgeräte wurden mit der Zeit immer robuster, zuverlässiger und genauer, kurz, sie wurden technisch immer besser. Druckgesteuerte Beatmungsgeräte erscheinen aus heutiger Sicht technisch optimiert. Sie realisierten also einen Weg, den die Technik damals besser beherrschte.

Technisch optimierte Beatmungsgeräte

Hier war H. Dräger, wie gesagt, seiner Zeit etwas voraus: moderne Beatmungsgeräte sind nicht mehr druckgesteuert, sondern überwiegend zeitgesteuert. Ob H. Dräger schon damals wußte, daß er mit seinem Prinzip der Physiologie näher kam als andere, entzieht sich unserer Kenntnis. Historische Tatsache jedoch ist, daß sein 1907 patentierter Pulmotor mit der Zeitsteuerung den richtigen Weg wies.

## Pionierzeit der Beatmung: »Die Eiserne Lunge«

Der Pulmotor war ausschließlich für Kurzeinsätze konzipiert worden. Verschiedene Krankheiten erforderten jedoch eine Langzeitbeatmung. So mußten während der Polioepidemien nach dem Zweiten Weltkrieg zahlreiche Patienten mit Atemlähmungen über einen längeren Zeitraum beatmet werden. Dazu wurden große, starre Behälter entwickelt, in die der beatmungspflichtige Patient gelegt wurde.

Derartige Apparate nannte man etwas irreführend »Eiserne Lungen«. Zur Beschreibung der Funktion wäre jedoch der Begriff »Eiserner Brustkorb« angebrachter gewesen, denn der starre Behälter wirkte wie ein zweiter Thorax. In diesem Behälter bewirkte eine bewegliche Membran fortwährend einen Druckwechsel und leistete damit eine Belüftung der Lunge wie ein künstliches Zwerchfell.

Wenn die Nachkriegszeit mit ihren »Eisernen Lungen« hier als Pionierzeit beschrieben wird, dann beruht das besonders auf Ausführungen von Dönhardt, der in erfrischender Weise schilderte, mit welchen Mitteln vor nicht einmal fünfzig Jahren Beatmungsgeräte mit viel Improvisationsgeist entwickelt wurden (5).

Als Druckbehälter einer »Eisernen Lunge« wurde dort ein Torpedorohr verwendet, als Antrieb für den Ventilationsmechanismus diente ein Blasebalg einer Feldschmiede, und das Getriebe stammte aus einem Fischkutter ...

Die Pioniere, die anfangs in Eigeninitiative die ersten »Eisernen Lungen« der Nachkriegszeit bastelten, fanden im Drägerwerk ihre Partner. Mit ihrer jahrzehntelangen Erfahrung bei der Entwicklung von Rettungsgeräten für Bergbau und Tauchtechnik brachten die Ingenieure die Ideen in der Wechseldruckbeatmung zur Serienreife.



Eiserne Lunge

Mit den »Eisernen Lungen« konnte die Überlebensrate bei Atemlähmungen während einer Polioerkrankung deutlich erhöht werden. Als Nachteil galt allerdings der große Platzbedarf und die erschwerte Pflege der Patienten.

Eine Weiterentwicklung der »Eisernen Lungen« waren Rumpfbeatmungsgeräte, bei denen nur noch der Thorax einem Wechseldruck ausgesetzt wurde. Trotz dieser technischen Weiterentwicklung waren Wechseldruckbeatmungsgeräte nur vorübergehend bedeutend.

Denn ein neuer Impuls sorgte für die »Renaissance« der Überdruckbeatmung zu Lasten der Wechseldruckbeatmungsgeräte. Dieser Impuls kam diesmal nicht von der Technik, sondern von der klinischen Anwendung.



Rumpfbeatmungsgerät im klinischen Einsatz

## Anfänge in der Intensiv- beatmung: Die Assistenten.

Bereits in den fünfziger Jahren sorgte eine neue Erkenntnis der klinischen Forschung für ein Umdenken in der Beatmungstherapie. Das größte Problem war nämlich nicht die Umkehrung der Druckverhältnisse bei der Beatmung mit Überdruck. Viel wichtiger war die Tatsache, daß die Therapeuten in der Beurteilung der Beatmung mehr auf subjektive klinische Eindrücke als auf exakte Meßparameter angewiesen waren (4).

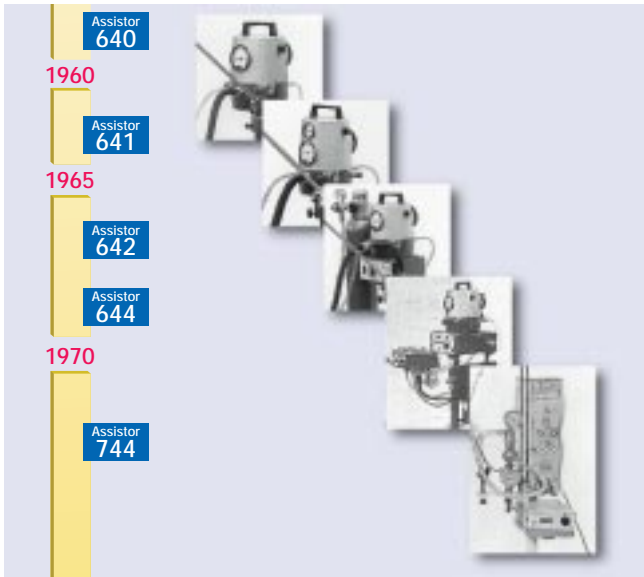
Ohne die Kenntnis der verabreichten Beatmungsvolumina kam es dann oft zu Fehlbehandlungen. Die Patienten erlitten entweder eine Atemgasunterversorgung oder sie wurden durch eine unnötig heftige Ventilation hohem Streß ausgesetzt.

Durch die neuen Erkenntnisse, insbesondere aus Skandinavien, gewann die Überdruckbeatmung durch die besseren Kontrollmöglichkeiten der Ventilation wieder an Bedeutung. Dabei wurden zwei Konzepte verfolgt: Zum einen wurde bei einer druckgesteuerten Beatmung das Atemgasvolumen überwacht, zum anderen wurde von vornherein ein konstantes Atemzugvolumen verabreicht.

Für die neuen Anwendungsbereiche entwickelte Dräger sowohl in der druckgesteuerten als auch in der volumenkonstanten Beatmung Gerätereihen, die zeitweilig parallel existierten. Das volumenkonstante Beatmungskonzept wurde dabei allerdings mit einiger Verspätung gegenüber den Skandinavien realisiert. In der druckgesteuerten Beatmung wurde mit der Gerätereihe der Assistenten das erfolgreiche Prinzip der Pulmotoren weiterentwickelt (7).

Gemeinsames Merkmal der Assistenten war neben der Drucksteuerung die Möglichkeit, einen maschinellen Beatmungshub zu triggern, d.h. mit einer Spontanatembemühung des Patienten auszulösen.

Kontrollierte Beatmung  
auf der Basis exakter Meß-  
parameter



Die Gerätereihe der Assistoren zur druckgesteuerten Beatmung.

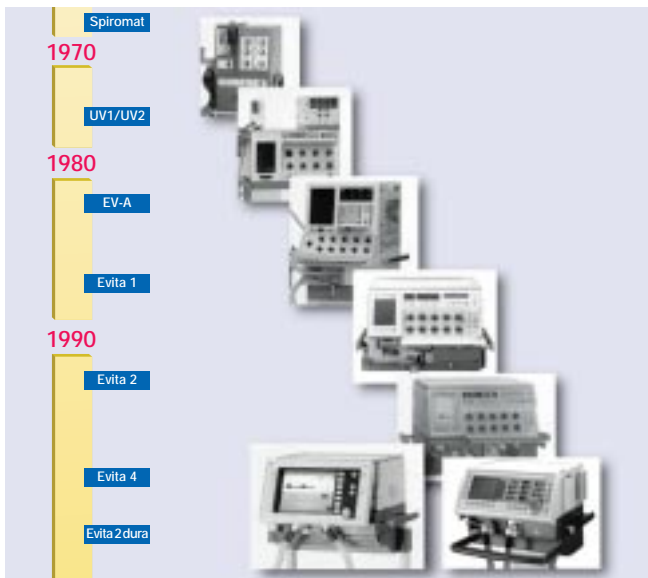
Ferner konnte mit allen Assistoren das Volumen überwacht werden und Aerosole über einen integrierten Vernebleranschluß vernebelt werden.

Das Grundgerät Assistor 640 ermöglichte eine assistierte Beatmung, bei der die Spontanatmung durch maschinelle Unterstützung vertieft wird. Die nachfolgenden Geräte boten zusätzlich eine kontrollierte Beatmung, bei der die Anzahl der Beatmungshübe eingestellt werden konnte. Der Zeitgeber arbeitete beim Assistor 641 pneumatisch, beim Assistor 642 bereits elektrisch. Mit dem Assistor 644 wurde die mögliche Einsatzdauer durch eine neue Atemluftanfeuchtung erweitert und der Patientenbereich auf die Pädiatrie ausgedehnt.

Der Assistor 744 verbesserte die Beatmungsqualität insbesondere in der Pädiatrie durch eine leichtere Triggerung. Außerdem wurde das etwas gewöhnungsbedürftige Äußere der frühen Assistoren grundlegend verändert: Das anwenderfreundliche und ästhetische Produktdesign gewann zunehmend Bedeutung in der Geräteentwicklung.

## Moderne Intensivbeatmung: Vom Spiromat zur Evita.

Die Gerätereihe der  
Intensivbeatmungsgeräte



Mit den Assistenten hatte sich das Anwendungsgebiet der Beatmung bereits von der reinen Poliotherapie auf postoperative Beatmung und die Inhalationstherapie bei chronischen Lungenerkrankungen erweitert.

Ziele der modernen  
Beatmung

Moderne Beatmung geht noch einen Schritt weiter. Sie will nicht nur die Zeit der Atemstörung überbrücken, sondern die Beatmungsform an die Ursache der Störung anpassen und wenn möglich diese Störung gezielt behandeln. Moderne Beatmung ist Beatmungstherapie.

Der Anspruch einer gezielten Intensivtherapie stellte neue Anforderungen an die Beatmungsgeräte wie die Einstellung von variablen Beatmungsmustern.



Voraussetzung für die Erfüllung der neuen Anforderung war eine größere Flexibilität der Beatmungsgeräte. Atemzeiten und Atemvolumina sollten direkt einstellbar sein. Gefordert war die zeitgesteuerte volumenkonstante Beatmung.

Moderne Intensivbeatmungsgeräte ermöglichen eine zeitgesteuerte volumenkonstante Beatmung

Die ersten Dräger-Beatmungsgeräte, die diese Ansprüche erfüllten, waren die 1955 eingeführten Spiromaten. Sie stellen den Ausgangspunkt der Entwicklung moderner Dräger-Intensivbeatmungsgeräte dar.

Der 1977 eingeführte »Universalventilator« UV-1 und später der UV-2 übernahmen von den Spiromaten die konventionelle Balgbeatmung, bei der das Atemgas aus einem Balg des Beatmungsgerätes in die Lunge gedrückt wird. Steuerung und Überwachung erfolgten bei diesen Geräten bereits elektronisch.

Der »Elektronik-Ventilator« EV-A führte 1982 die mikroprozessorgesteuerte Atemgasdosierung in die Dräger-Beatmung ein und ermöglichte damit eine genaue Steuerung des Atemgasflusses über den gesamten Atemzyklus. Neu war auch die Darstellung von Beatmungskurven auf einem integrierten Bildschirm, die seither zur Standardausstattung von Dräger-Intensivbeatmungsgeräten gehört.

Seit 1982 ist der Bildschirm zur Darstellung von Beatmungskurven ein Bestandteil des Beatmungsgerätes

Mit der Evita-Reihe wurde die Mikrorechnertechnologie in der Beatmung weiterentwickelt und eine Anpassung der maschinellen Beatmung an die Spontanatmung ermöglicht. In jüngster Zeit dient der integrierte Bildschirm nicht mehr nur zur Meßwertdarstellung, sondern auch direkt der Bedienung des Gerätes.

Seit jüngster Zeit gibt es in der Dräger-Intensivbeatmung parallel zwei Gerätekonzepte: die Evita 4 für Spitzenansprüche sowie die Evita 2 Dura für Standardanforderungen.

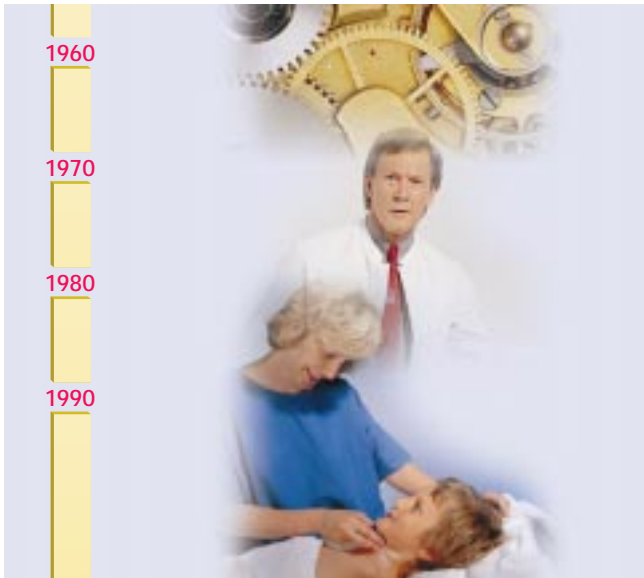
## Die Rolle des Therapeuten

Zusammenfassend kann die Geschichte der Beatmungsgeräte grob in drei Phasen unterteilt werden. Erstens die einfache maschinelle Beatmung, zweitens die durch manuelle Korrekturmaßnahmen des Therapeuten optimierte Beatmung und drittens die Beatmung mit automatischer Anpassung an den Patienten. Von besonderem Interesse ist nun die Frage, inwieweit sich die Rolle des Therapeuten und der Patienten im Laufe der Zeit gewandelt hat.

Assistoren sowie die ersten volumenkonstanten Beatmungsgeräte sind nach heutigem Verständnis einfache Maschinen. Primäres Ziel in der Beatmung war bei ihrem Einsatz die Sicherung einer Belüftung der Lungen. Dem Therapeuten standen dabei nur wenige Verfahren und bescheidene Sicherheitsvorrichtungen z.B. gegen zu hohe Beatmungsdrücke zur Verfügung.

Mit der Einführung des UV-1 begann sich die Rolle des Therapeuten zu wandeln: er war fortan nicht nur verantwortlich für die Einstellung der Grundparameter, sondern er konnte die Beatmung gezielt an seinen Patienten anpassen. Die neuen Verfahren erlaubten ihm z.B., seinen Patienten vom Beatmungsgerät zu entwöhnen. Innerhalb der Verfahren konnte er die Beatmung optimieren, indem er z.B. den Beatmungsdruck begrenzte. Die neuen Möglichkeiten beanspruchten für ihren medizinischen Einsatz jedoch einen hohen Arbeitsaufwand, der nur teilweise dem Patienten zugute kam. Ein Großteil der zusätzlichen Arbeit bestand in manuellen Korrekturen von damaligen Unzulänglichkeiten in der Beatmungstechnik.

Mit neuen Möglichkeiten einer automatischen Anpassung des Beatmungsgerätes an die physiologischen Gegebenheiten begann sich die Rolle des



Einfache  
maschinelle Beatmung

Manuelle Korrekturen  
am Gerät durch den  
Therapeuten

Automatische Anpassung  
der Beatmung an den  
Patienten – mehr Zeit für  
die Pflege

Therapeuten erneut zu verändern: er wurde zunehmend entlastet von der »Maschinenbedienung«. Die automatische Anpassung an den Patienten beschränkte sich zunächst auf mechanische Veränderungen der Lunge: so konnte die EV-A durch entsprechende Steuerung der Atemgaslieferung auch bei einer Leckage z.B. bei einer Fistel beatmen. Eine verbesserte Anpassung der Beatmung an den atmen- den Patienten ermöglichte Evita, indem sie die maschinelle Beatmung der physiologischen Atmung unterordnete und Spontanatmung auch während eines maschinellen Beatmungshubes zuließ. Die Entlastung des Therapeuten bei der Gerätebedienung war auch dringend notwendig geworden, denn die moderne Beatmung erlaubte die Behandlung schwerster Krankheitsbilder, deren erhöhter Pflegeaufwand mehr Zeit für den Patienten forderte.

Nach dem geschichtlichen Rückblick in der Beatmung wird im Folgenden die Evolution der Beatmungsverfahren, des Monitorings und der Benutzeroberfläche dargestellt. Der erste Abschnitt befaßt sich dabei mit den Beatmungsverfahren.

# Beatmung und Atmung

Die Evolution von maschinenorientierten zu patientenorientierten Beatmungsverfahren fand erst in den letzten drei Jahrzehnten statt. Für eine so späte Entwicklung sprechen im wesentlichen zwei Gründe: erstens gibt es einen prinzipiellen Unterschied von maschineller Beatmung und physiologischer Atmung, und zweitens ist die Auslösung und Steuerung des Atemgasflusses in der Beatmung eine enorme technische Herausforderung.

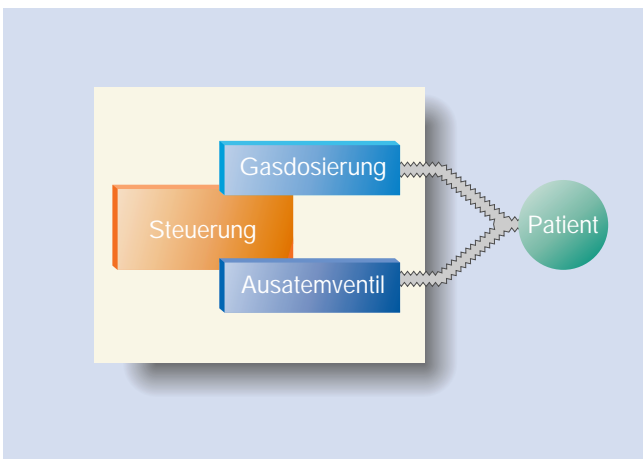
Prinzipielle Unterschiede zwischen maschineller Beatmung und physiologischer Atmung

Der prinzipielle Unterschied von physiologischer Atmung und künstlicher Beatmung zeigt sich in der Inspirationsphase: In der Atmung wird das Innenvolumen des Brustkorbes durch Kontraktion der Atemmuskulatur vergrößert. Dabei entsteht ein Unterdruck in der Lunge und Luft wird eingesogen. In der Beatmung wirkt ein umgekehrtes Prinzip. Das Beatmungsgerät erzeugt einen Überdruck und drückt damit das Atemgas in die Lunge. Der Beatmungsdruck kann die Lunge und andere Organe in Mitleidenschaft ziehen. Eine wesentliche Herausforderung für die künstliche Beatmung ist es nun, die prinzipiell bedingten unvermeidbaren Nebenwirkungen des Beatmungsdruckes so gering wie möglich zu halten (3)(1).

Auslösung und Steuerung des Atemgasflusses in der Beatmung

Die wichtigsten Funktionselemente eines Beatmungsgerätes sind die Vorrichtung zur Gasdosierung und das Ausatemventil. Eine Steuereinheit sorgt dafür, daß einerseits während der Einatemphase das Atemgas in die Patientenlunge gedrückt wird, und andererseits in der Ausatemphase das Gas über das Ausatemventil abfließt. Die Steuereinheit schaltet dazu in der Einatemphase die Gasdosierung ein und schließt das Ausatemventil. Der dadurch erzeugte Druck bewirkt wie bei einem Blasebalg eine Belüftung der Lunge.

In der Ausatemphase wird kein Atemgas verabreicht, das Atemgas der Lunge entweicht von alleine über das geöffnete Ausatemventil.



Funktionselemente eines Beatmungsgerätes

In der Qualität der Atemgasdosierung unterscheiden sich ältere Gerätegenerationen erheblich von modernen Beatmungsgeräten. Bei den ersten Beatmungsgeräten bestimmte allein die Maschine den zeitlichen Verlauf der Atemgaslieferung. Kam es dabei zu Disharmonie zwischen Patientenatmung und maschineller Beatmung, so war es meist unumgänglich, den Patienten mit Medikamenten ruhigzustellen.

Ältere Beatmungsgeräte waren somit »meilenweit« von der Physiologie entfernt. Kennzeichnend für die Evolution der Beatmungsverfahren ist die stetige Verringerung dieses Abstandes durch technische und medizinische Fortschritte, die sich gegenseitig bedingten.

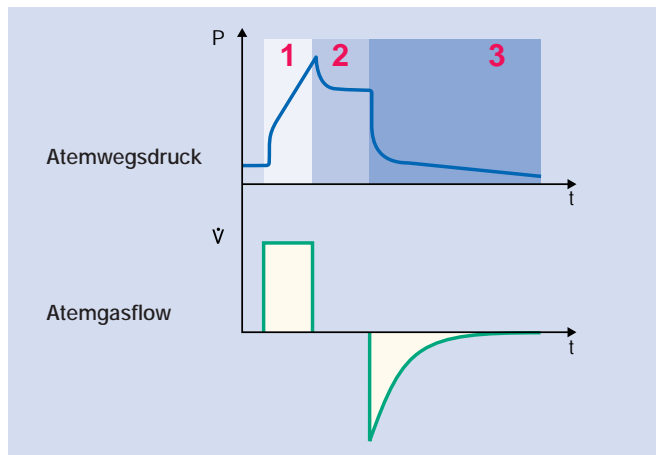
## Drei Probleme der maschinellen Beatmung.

Die Annäherung der maschinellen Beatmung an die physiologische Atmung wurde nicht in einem Zuge, sondern schrittweise geleistet. Bei jedem Schritt wurde jeweils ein Problem gelöst, das man sich mit der Umkehrung der Druckverhältnisse und technische Limitationen eingehandelt hatte.

Im Folgenden sollen zunächst drei wesentliche Probleme dargestellt werden, die direkt aus der Verlaufsform eines maschinellen Beatmungshubes erkennbar sind. Der Verlauf eines maschinellen Atemzuges kann dabei durch Beatmungskurven veranschaulicht werden.

Derartige Kurven erhält man, wenn man für die Dauer einer Inspiration und Expiration den Atemwegsdruck bzw. den Atemgasflow aufzeichnet. Den Zeitabschnitt vom Beginn einer Inspiration bis zum Beginn der nächsten bezeichnet man dabei als Beatmungszyklus.

Darstellung der Beatmung durch Beatmungskurven:



Die Grafik zeigt den Beatmungszyklus eines Spiromaten als Atemwegsdruck- und als Flowkurve. Am Verlauf des Atemwegsdruckes lassen sich drei Phasen erkennen: Der Druck steigt zunächst in Abschnitt 1 bis zu einem Spitzenwert an. Diesen Abschnitt nennt man die Flußzeit. In Abschnitt 2 sinkt der Druck auf einen stabilen Wert. Diesen Abschnitt bezeichnet man aufgrund seiner Form als Plateau. In Abschnitt 3, der Expirationszeit, sinkt der Druck auf einen Restwert.

Der zeitliche Verlauf des Atemgasflusses (Flow), zeigt die drei Phasen noch deutlicher. Die bereits erwähnten drei Probleme können mit den umseitig dargestellten Beatmungskurven erläutert werden.

Erstens können durch den konstanten Atemgasfluß zu Beginn der Inspiration Druckspitzen erzeugt werden. Dadurch kann das Lungengewebe unter bestimmten Umständen einer erhöhten mechanischen Belastung ausgesetzt werden.

Zweitens kann im Plateau nicht ausgeatmet werden, weil das Beatmungsgerät das Ausatemventil noch fest verschlossen hält. Die natürliche Atmung wird in dieser Phase erheblich gestört.

Drittens sinkt der Restdruck ab, wenn Atemgas durch ein Leck entweichen kann. Ein konstanter Restdruck hat jedoch eine große klinische Bedeutung. Man hat ihm deshalb einen eigenen Namen gegeben: Den Atemwegsdruck am Ende der Expirationszeit bezeichnet man als PEEP\*.

Die Lösungen der drei Probleme wurden, wie bereits erwähnt, zu verschiedenen Zeiten entwickelt. Als erstes Problem wurden die Druckspitzen in Angriff genommen.



Spiromat

Drei Probleme in der maschinellen Beatmung

\*) PEEP (Positive-End-Expiratory-Pressure) = Atemwegsdruck am Ende der Expirationszeit.

## Druckbegrenzte Beatmung mit dem UV-1.



UV-1

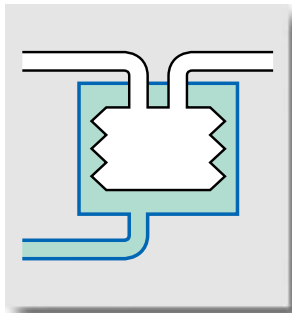
Druckspitzen zu Beginn der Inspirationsphase ergeben sich in der maschinellen Beatmung aus einer einfachen Form der Atemgasdosierung, so wie sie in den ersten Spiromaten realisiert ist. Das Atemgas wird dort mit einem konstanten Flow ohne Rücksicht auf den dabei entstehenden Atemwegsdruck verabreicht. Eine derartige Beatmung kann aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten zu Druckspitzen auch in der Lunge führen. Erst wenn sich das Atemgas in der gesamten Lunge verteilt hat, kehrt der Druck auf den Plateauwert zurück.

Die Anästhesisten kennen dieses Problem. Sie vermeiden Druckspitzen in der manuellen Balgbeatmung durch eine geschickte Kontrolle des Beatmungsdruckes: Mit viel Gefühl drücken sie auf den Beatmungsbalg, damit sie zu keinem Zeitpunkt die Lunge durch einen zu hohen Atemwegsdruck überdehnen.

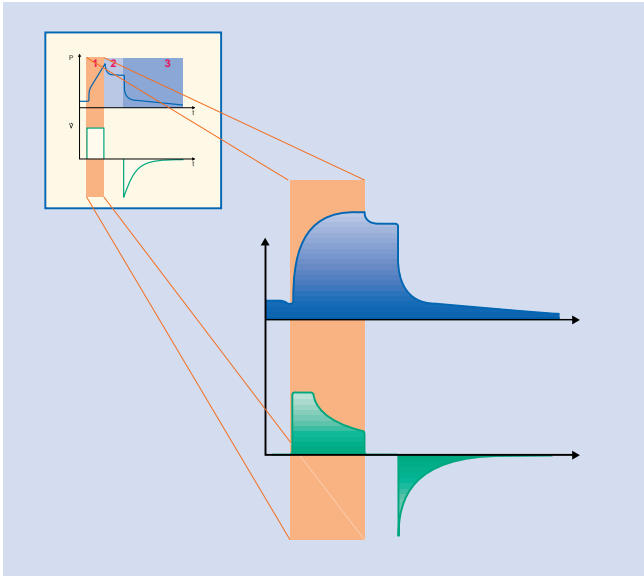
Prinzip der manuellen Balgbeatmung umgesetzt in der maschinellen Beatmung

In der maschinellen Beatmung wurde das Problem der Druckspitzen durch ein technisches Prinzip gelöst, das die erfahrene Hand des Anästhesisten gewissermaßen kopierte: es ist das Prinzip der Balgbeatmung mit einstellbarem Arbeitsdruck, das beim UV-1 zum Einsatz kam.

Die Konstruktion des maschinellen Beatmungsbalges ist in der nebenstehenden Grafik erkennbar. Der Beatmungsbalg befindet sich hier in einem starren Behälter, wobei der Druck in diesem Behälter als sog. Arbeitsdruck vom Therapeuten eingestellt wird. Diese Konstruktion ermöglicht eine Beatmung, bei der der Atemwegsdruck auf den Wert des Arbeitsdruckes begrenzt ist. Für eine derartig modifizierte volumenkonstante Beatmung hat sich der Name »druckbegrenzte Beatmung« eingebürgert.







Problem Nr. 1: Drucksitzen

Druckkontrollierte  
Beatmung hergeleitet aus  
der volumenkonstanten  
Beatmung

Die Grafik zeigt den Verlauf der druckbegrenzten Beatmung. Die Druckschärfe ist hier »abgeschnitten« und der Flow sinkt von einem anfänglich konstanten Wert kontinuierlich ab. Ein derartiges Absinken des Flows in der druckbegrenzten Beatmung bezeichnet man als »dezellierenden Flow«. Wird dabei der Druck soweit reduziert, daß das eingestellte Atemzugvolumen sich nicht mehr erreichen läßt, dann wird die Beatmung »druckkontrolliert«.

Das Konzept der druckkontrollierten Beatmung des UV-1 und dessen Nachfolger unterscheidet sich in diesem Punkt grundsätzlich von allen anderen Beatmungskonzepten: die druckkontrollierte Beatmung wurde nicht als neues eigenständiges Verfahren eingeführt, sondern aus der ursprünglichen volumenkonstanten Beatmung hergeleitet.

Druckkontrollierte Beatmung trat dabei keineswegs die Nachfolge der volumenorientierten Beatmung an. Beide Verfahren standen parallel zur Verfügung. Der UV-1 und seine Nachfolger erlaubten dabei über lange Zeit als einzige Beatmungsgeräte die Kombination der Vorteile beider Formen.

## Neue Beatmungstechnik mit EV-A.

Die konventionelle druckkontrollierte Beatmung stellte noch keine zusätzlichen Ansprüche an die Technik der Beatmungsgeräte. Sie konnte in solider Qualität mit der beschriebenen Balgbeatmung realisiert werden.

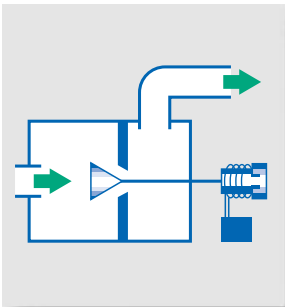


EV-A

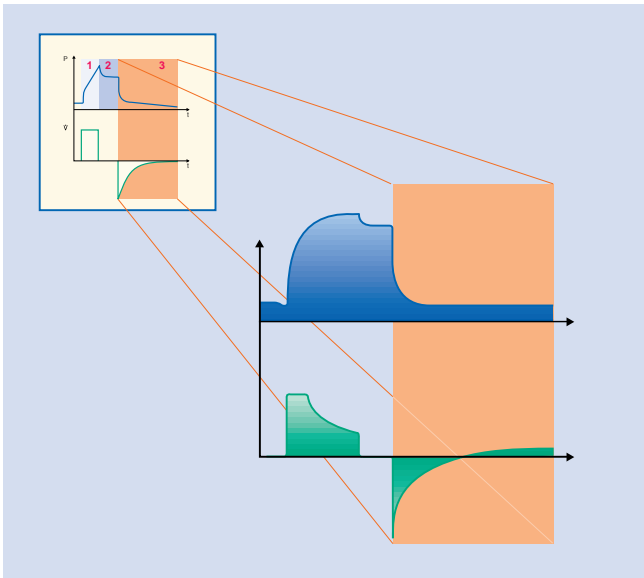
Das Prinzip der Balgbeatmung wurde Anfang der achtziger Jahre durch die mikroprozessorgesteuerten Beatmungsgeräte unserer Zeit abgelöst, deren erster Vertreter die EV-A war. Die neue Gerätegeneration bewirkte allerdings zunächst keine gravierenden Verbesserungen bei den Problemen der konventionellen Verfahren, sondern kopierte gewissermaßen die bereits bekannten Beatmungsformen mit einer neuen Technologie bei der Atemgasdosierung und der Steuerung des Ausatemventils.

Bei dieser neuen Technologie wurde die Funktion des Balges durch moderne Ventile ersetzt. Das Neue an diesen Ventilen war ein elektromagnetischer Antrieb, der den pneumatisch oder elektrisch betriebenen Mechanismus ersetzte.

Die Konstruktion eines solchen elektromagnetischen Antriebes war bei seinem ersten Einsatz in der Beatmungstechnik schon einige Jahrzehnte bekannt. Sie wurde zum Beispiel in Lautsprechern eingesetzt und brachte dort durch Elektromagneten eine Membran in so schnelle Bewegung, daß dabei Schall erzeugt wurde. Die nebenstehende Grafik zeigt das Funktionsschema eines elektromagnetischen Ventils zur Gasdosierung.



Die neuen Ventile waren aber nicht nur außerordentlich schnell, sie konnten durch die neue Mikrorechner-technik auch noch sehr rasch und exakt gesteuert werden. Mit dieser neuen Technik boten sich geradezu neue Dimensionen in der dynamischen Dosierung von Atemgasen.



Problem Nr. 3: Leckverluste

Echtzeitkurven zur Veranschaulichung der Leckagekompensation. Zu beachten ist der Kompensationsflow im letzten Abschnitt der Expirationsphase

Gleiches galt für die Funktion des Ausatemventils, das bei der EV-A erstmals indirekt über einen Elektromagneten angetrieben und durch einen Mikrorechner gesteuert wurde.

Die neue Technologie brachte die maschinelle Beatmung trotz ihres enormen Potentials wie bereits erwähnt zunächst nur einen kleinen Schritt vorwärts: Mit ihr konnte die EV-A erstmalig trotz einer Leckage den PEEP aufrecht erhalten. Die Beatmungskurven zeigen die Leckagekompensation deutlich am Verlauf des Expirationsflows.

Durch ihre dynamische Atemgasdosierung konnte die EV-A nun gerade soviel Gas nachliefern, wie über ein Leck, beispielsweise am Tubus, entwich.

Die technische Innovation durch Mikroprozessoren brachte jedoch nicht nur Fortschritte für die Beatmung. Sie war ebenso die Ursache für Irrwege.

## Einfach und offen für Spontanatmung: BIPAP.

Als Fehlentwicklung wird aus heutiger Sicht die Zunahme von Beatmungsverfahren ohne nennenswerten therapeutischen Nutzen gesehen. Mit der Inflation an Beatmungsverfahren wurde die Beatmung komplexer – aber sie wurde dadurch nicht zwangsläufig besser.

Eine Vereinfachung der maschinellen Beatmung bot sich erst ein halbes Jahrzehnt später mit dem Beatmungsverfahren BIPAP\*(2) (8). Das neue Verfahren zeichnete sich durch ein ungewohnt breites Anwendungsspektrum von reiner maschineller Beatmung bis zu reiner Spontanatmung aus. Es stand kurz nach seiner Veröffentlichung erstmals mit der Evita einer breiten klinischen Anwendung zur Verfügung.

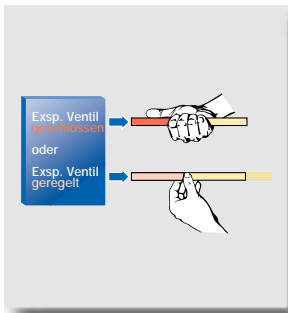
Wichtigster Fortschritt des neuen Verfahrens war die Möglichkeit einer Spontanatmung während der künstlichen Beatmung. Damit wurde das letzte der drei beschriebenen Probleme der maschinellen Beatmung gelöst.

Konventionelle maschinelle Beatmung ließ während des Beatmungshubes keine Spontanatmung zu. Der Patient konnte also in den maschinellen Hüben nicht ausatmen, da das Expirationsventil verschlossen war. Abhilfe schaffte hier das Prinzip des »Offenen Systems«, das mit der Evita eingeführt wurde.

In der konventionellen maschinellen Beatmung hält das Beatmungsgerät das Expirationsventil fest verschlossen ähnlich einer kräftigen Hand, die einen Schlauch verschließt. Im »Offenen System« wird das Expirationsventil feinfühlig geregelt ähnlich wie bei einer sensiblen Hand, die mit Fingerspitzengefühl den Durchfluß regelt.



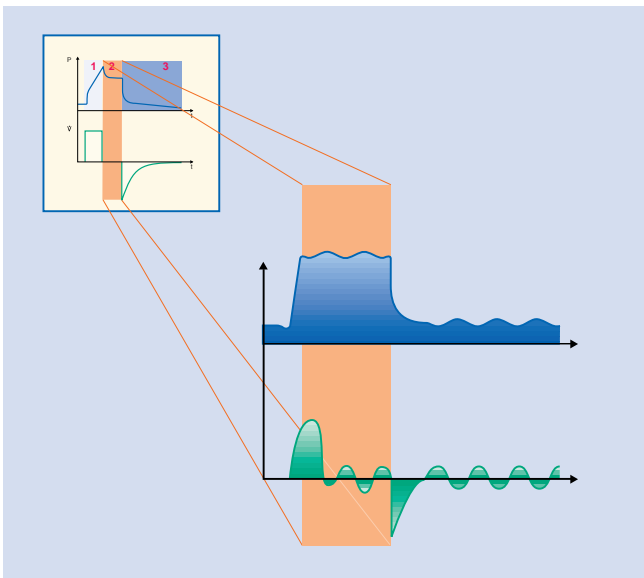
Evita 1



In einem »Offenen System« ist das Expirationsventil niemals fest verschlossen

\*) Lizenziertes Warenzeichen. BIPAP = Biphase Positive Airway Pressure.

Das Prinzip des »Offenen Systems« ist die technische Grundlage für die Realisierung des neuen druckkontrollierten Beatmungsverfahrens BIPAP.



Problem Nr.2:  
Keine Spontanatmung  
während eines maschinellen  
Beatmungshubes

Echtzeitkurve einer BIPAP  
Beatmung. Beachte den  
Expirationsflow während  
des maschinellen Hubes

Anhand der Flowkurve kann die jederzeit verfügbare Spontanatemmöglichkeit deutlich erkannt werden: Zum ersten mal ist auch während der maschinellen Inspirationphase eine Ausatmung möglich.

BIPAP brachte die Evolution der Beatmung somit um zwei entscheidende Schritte nach vorn. Erstens reduzierte BIPAP aufgrund seines breiten Anwendungsspektrums die Anzahl der notwendigen Verfahren – die Beatmung wurde einfacher. Zweitens ließ das Verfahren durch die Spontanatmung während eines Hubes dem Patienten mehr Freiraum zum Atmen und belastete ihn damit weniger.

## Druckoptimiert und offen für Spontanatmung: AutoFlow.<sup>®</sup>

Mit der Einführung der Evita konnten bei den maschinellen Hüben die Druckspitzen beseitigt und eine Spontanatmung ununterbrochen ermöglicht werden. Zufriedenstellende Ergebnisse lieferten die Problemlösungen aber nur in der druckkontrollierten Beatmung mit BIPAP. In der volumenkonstanten Beatmung hingegen war die Beseitigung der Druckspitzen arbeitsaufwendig, eine freie Durchatembarkeit stand dort überhaupt noch nicht zur Verfügung.

Mit der Einführung der Evita 4 wurden das Druckproblem und das Problem einer beeinträchtigten Spontanatmung in der volumenkonstanten Beatmung in Angriff genommen.

Druckspitzen ließen sich in einer volumenkonstanten Beatmung bereits mit der Druckbegrenzung des UV-1 beseitigen. Allerdings ist eine manuell eingestellte Druckbegrenzung nur dann optimal, wenn die mechanischen Verhältnisse in der Lunge unverändert bleiben – und das ist in der Regel bei einer beatmeten Lunge nicht der Fall.

Vielmehr ändern sich die mechanischen Eigenschaften der Lunge: Sie kann erstens steifer oder elastischer werden – es ändert sich also die Elastizität, die als Compliance bezeichnet wird. Weiterhin kann sich der Strömungswiderstand in den Atemwegen vergrößern oder verringern – die sich dabei ändernde Größe ist die Resistance.

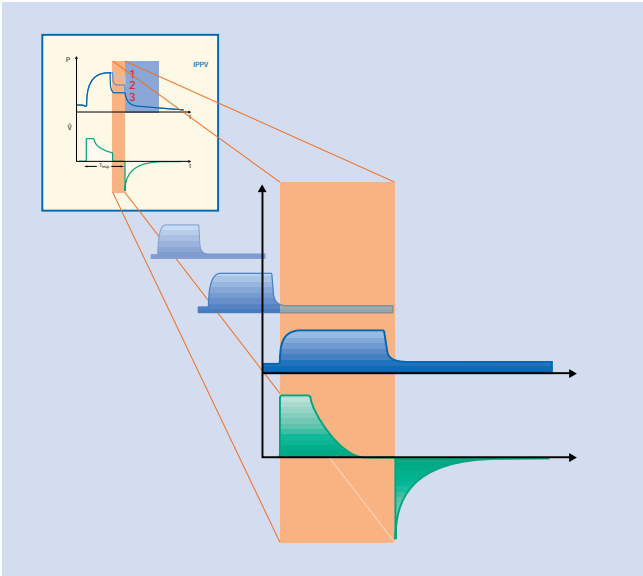
Vergrößert sich z.B. die Compliance der Lunge und sie wird im Verlauf einer Therapie elastischer, dann reichen geringere Beatmungsdrücke, um das gewünschte Volumen zu verabreichen.

Eine vergrößerte Compliance erfordert somit einen geringeren Druck, um das gewünschte Volumen zu verabreichen. Im Grunde genommen müßte der Therapeut Atemzug für Atemzug eine Messung



Evita 4

Der notwendige minimale Beatmungsdruck hängt in der volumenkonstanten Beatmung von der Compliance ab

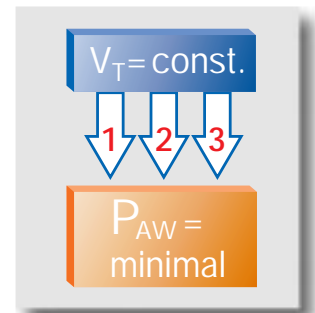


Die Regelung des Beatmungsdruckes mit AutoFlow®: Drei Beatmungsdruckkurven aufgenommen zu verschiedenen Zeiten im Verlauf einer Compliancezunahme

der Compliance durchführen und danach rasch den geringstmöglichen Beatmungsdruck einstellen.

Diesen Arbeitsaufwand erspart ihm Evita 4, indem sie die Messungen der Compliance und die Einstellungen des minimalen Beatmungsdruckes automatisch durchführt. Diese Automatik trägt die Bezeichnung AutoFlow®\*. Sie steht nicht als individuelles Beatmungsverfahren, sondern als Zusatzfunktion in allen volumenkonstanten Verfahren zur Verfügung. Mit AutoFlow wird der Atemgasflow unter Berücksichtigung der vorliegenden Lungenmechanik so geregelt, daß das Atemzugvolumen mit dem geringstmöglichen Druck verabreicht wird.

Des weiteren ermöglicht AutoFlow eine Spontanatmung während eines volumenkonstanten Beatmungshubes. AutoFlow stellt damit die »Freie Durchatembarkeit«, die sich im druckkontrollierten BIPAP bereits über Jahre bewährt hat, einem breiteren Anwendungsspektrum zur Verfügung.



\*) AutoFlow® ist ein eingetragenes Warenzeichen.

## Spontanatmung: Eine Evolution für sich allein.

Parallel zu den maschinellen Beatmungsverfahren, allerdings etwa zehn Jahre später, entwickelten sich die Verfahren zur Unterstützung der Spontanatmung.

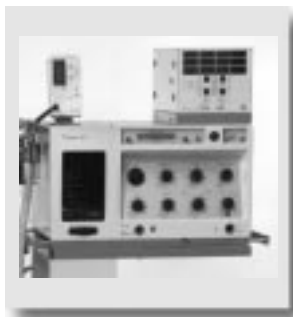
Der Grund dieser Verspätung liegt am aufwendigen Steuerungsprinzip dieser Verfahren. Der zeitliche Verlauf eines Beatmungszyklus sowie die Menge des verabreichten Atemgases richten sich hier nämlich primär nach dem Patienten und werden im Gegensatz zur zeitgesteuerten Beatmung nicht direkt vom Therapeuten eingestellt.

Das Beatmungsgerät muß dabei also erst einmal registrieren, wann der Patient einatmen will, und es muß dann auch noch blitzschnell das Geforderte liefern. Das stellt hohe Anforderungen an das Beatmungsgerät, denn jede Verzögerung bei der Lieferung des Atemgases bedeutet zusätzliche Atemarbeit für den Patienten.

In der Regel ist die Eigenatmung des Patienten jedoch so schwach, daß sie die erforderliche Atemarbeit ohnehin nicht alleine leisten kann. Zur Unterstützung der unzureichenden Spontanatmung kann das Beatmungsgerät dem spontan atmenden Patienten das Atemgas mit einem leichten Überdruck liefern. Das Beatmungsgerät entlastet dabei den Patienten, indem es ihm einen Teil der Atemarbeit abnimmt.

Beginn und Dauer dieser sog. Druckunterstützung richten sich nach der Spontanatmung und Lungenmechanik des Patienten. Lediglich die Höhe der Druckunterstützung wird noch vom Therapeuten eingestellt. Das Verfahren nennt sich ASB (Assisted Spontaneous Breathing) und wurde bei Dräger erstmalig beim UV-2 eingesetzt.

Steuerungsprinzip in der Beatmung eines spontanatmenden Patienten

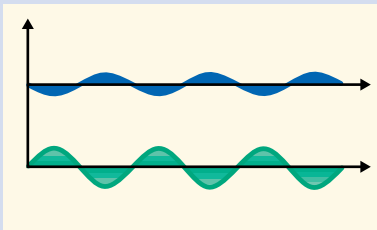




Die Druckunterstützung bietet dem Patienten durch die maschinell geleistete Atemarbeit eine Entlastung, ohne ihm dabei ein maschinell erzeugtes Beatmungszeitmuster aufzuzwingen.

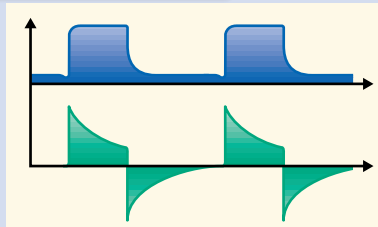
Obgleich sich bei der Druckunterstützung die maschinelle Beatmung der Spontanatmung des Patienten in gewissen Grenzen anpaßt, gibt es bisweilen prinzipiell bedingte Probleme bei der Abstimmung. Der Verlauf der Druckunterstützung stimmt nämlich unter bestimmten Bedingungen nicht mehr mit der Spontanatmung überein. Außerdem sind die abrupten Drucksprünge für den Patienten unangenehm.

Gefordert war somit eine bessere Anpassung der druckunterstützten Beatmung an die Atmung des Patienten.



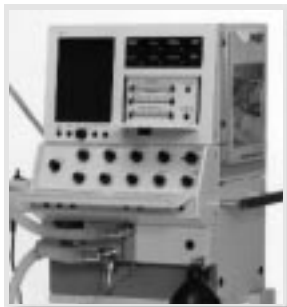
Beatmung und Spontanatmung:

1. Ohne Druckunterstützung



2. Konventionell druckunterstützt

## Die Anpassung der Unterstützung an die Spontanatmung.



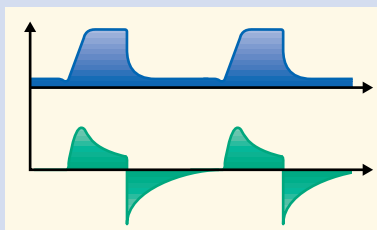
EV-A

Die Abstimmung der Druckunterstützung mit der Spontanatmung wurde zunächst durch eine manuelle Korrekturmaßnahme in der konventionellen Druckunterstützung und später durch eine automatische Anpassung der Unterstützung an die sich ändernden Lungenverhältnisse erreicht.

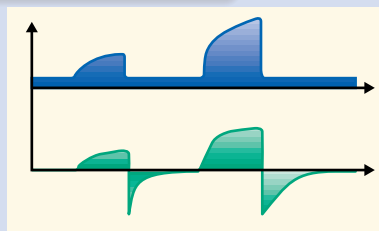
Eine manuelle Anpassung der maschinellen Beatmung an die Spontanatmung war erstmals mit der EV-A möglich. Mit einer zusätzlichen Einstellung der Druckanstiegsgeschwindigkeit kann seitdem bei bestimmten Verhältnissen der Lungenmechanik eine bessere Synchronisation der Druckunterstützung mit der Spontanatmung erreicht werden. Der Zeitverlauf der Unterstützung ist nämlich nicht nur

Die Anpassung der Beatmung an die Spontanatmung:

1. Druckunterstützt mit einstellbarer Druckanstiegszeit



2. Proportionale Druckunterstützung



vom Bedarf des Patienten abhängig, sondern richtet sich vielmehr auch nach mechanischen Größen wie Resistance und Compliance. Die Dauer der Druckunterstützung kann deshalb manchmal kürzer sein, als vom Patienten gefordert. Die mit einer längeren Druckanstiegszeit verbundenen geringeren Atemgasflows werden dabei vom Patienten meist als angenehmer empfunden.

Mit der Einstellung der Druckanstiegsgeschwindigkeit kann die ASB-Beatmung besser an die physiologischen Verhältnisse und die Ansprüche der Patienten angepaßt werden.

Nach Einführung der einstellbaren Druckanstiegszeit stagnierte die Evolution der druckunterstützten Beatmung für mehr als zehn Jahre. Lediglich die Einführung des Flowtriggers zur leichteren Auslösung der Druckunterstützung der Evita brachte danach noch einen gewissen Fortschritt in der unterstützten Spontanatmung.

Der entscheidende Schritt zur patientenorientierten druckunterstützten Beatmung hingegen deutet sich durch ein neues Prinzip an, bei dem die Druckunterstützung nicht mehr vom Therapeuten direkt eingestellt wird. Vielmehr wird sie vom Beatmungsgerät geregelt: Je höher die Atemanstrengung des Patienten, desto größer die Druckunterstützung (9).

Das Prinzip dieser geregelten Druckunterstützung ähnelt einer Servolenkung. Die Druckunterstützung ist dabei mathematisch gesehen proportional zur Atemanstrengung. Das neue Verfahren steht ab 1997 als »Proportionale Druckunterstützung« PPS\* in der Evita 4 zur Verfügung.



Evita 1



Evita 4

\*) PPS = Proportional Pressure Support

# Tendenzen in der Evolution der Beatmungsverfahren.

## 1. Evolution von maschinenorientierter zu patientenorientierter Beatmung

In der Evolution der Beatmungsverfahren können zwei verschiedene Tendenzen identifiziert werden: die Beatmung ist erstens patientenorientierter und zweitens anwenderorientierter geworden.

Die Entwicklung der maschinellen Beatmung begann mit maschinellen »Luftpumpen« zur Atemgasversorgung des Patienten.

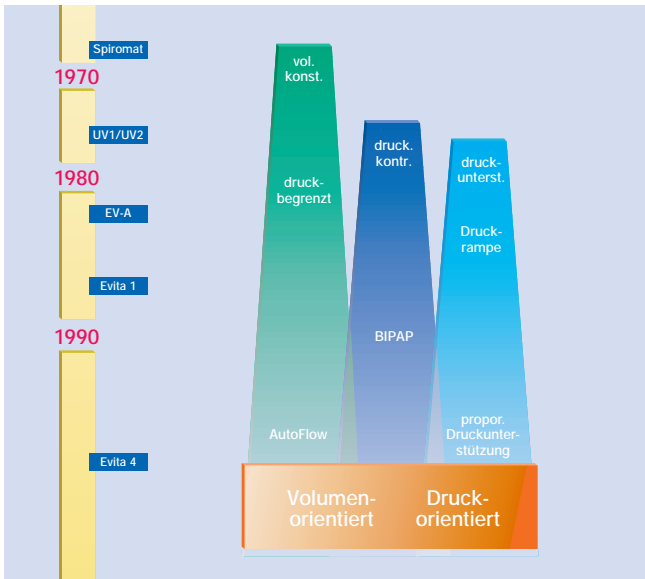
Auf der nächsten Entwicklungsstufe werden Hilfseinrichtungen zur Anpassung der maschinellen Beatmung an den Patienten eingeführt. Sie werden als zusätzliche Einstellparameter in den Beatmungsverfahren vom Therapeuten eingesetzt.

In der zeitgesteuerten Beatmung wird als Hilfsparameter die Druckbegrenzung zur Verringerung einer mechanischen Belastung der Lunge eingesetzt. In der Spontanatmung wird die Druckunterstützung eingeführt, um den Patienten in seiner Atemarbeit zu entlasten. In beiden Fällen, sowohl in der Druckbegrenzung als auch in der Druckunterstützung ist die Technik noch relativ einfach, die Anwendung ist jedoch arbeitsaufwendig: Ändert sich die Lungenmechanik, dann muß der Therapeut in der Regel die Beatmung anpassen.

In der nächsten Entwicklungsstufe wird die Funktion der manuell eingestellten Hilfsparameter zunehmend durch »intelligente« Funktionen des Beatmungsgerätes übernommen. Mit AutoFlow, Freier Durchatembarkeit und proportionaler Druckunterstützung paßt sich das Beatmungsgerät automatisch den Veränderungen der Lungenverhältnisse und der physiologischen Atmung an. In der patientenorientierten Beatmung gehorcht das Beatmungsgerät dem Patienten.

## 2. Evolution von maschinenorientierter zu anwenderorientierter Beatmung

Als zweite Tendenz ist eine Vereinfachung der Beatmung erkennbar: Es werden immer weniger



Anzahl der Beatmungsverfahren:

Wenig aufgrund technischer Limitationen

Viel aufgrund technischer Innovation

Wenig aufgrund patientenorientierter und anwenderorientierter Beatmungskonzepte

Verfahren benötigt. Die vielen Verfahren älterer Beatmungsgeräte waren durch die begrenzte technische Möglichkeit bedingt; man konnte es einfach nicht besser und brauchte für jedes technische und medizinische Problem ein Spezialverfahren.

Einen entscheidenden Schritt zur Vereinfachung der Beatmung leistete BIPAP. In der Respiratorentwöhnung ist seitdem nur noch ein einziges Verfahren notwendig. Für die Entscheidung ob druck- oder volumenorientiert beatmet wird, konzentriert sich heute die Auswahl auf die beiden Alternativen BIPAP und AutoFlow.

Bei allem Fortschritt für Patienten und Anwender leisten Beatmungsverfahren jedoch nur Ersatzfunktionen für eine physiologische Atmung, die man optimieren kann, so wie man eine Beinprothese als Gehhilfe verbessern kann. Die Evolution ist somit noch nicht abgeschlossen.

Beatmung wird jedoch die gesunde Atmung nie ersetzen können, sowenig wie eine Prothese ein gesundes Bein ersetzen kann. Das ist die Grenze in der Evolution der Beatmung.

Chancen und Grenzen der Evolution

## Vom Meßinstrument zum Beatmungsmonitor.

Der vorherige Abschnitt befaßte sich mit der Entwicklung der Beatmungsverfahren. Im Folgenden soll nun untersucht werden, wie sich parallel dazu das Beatmungsmonitoring entwickelt hat.

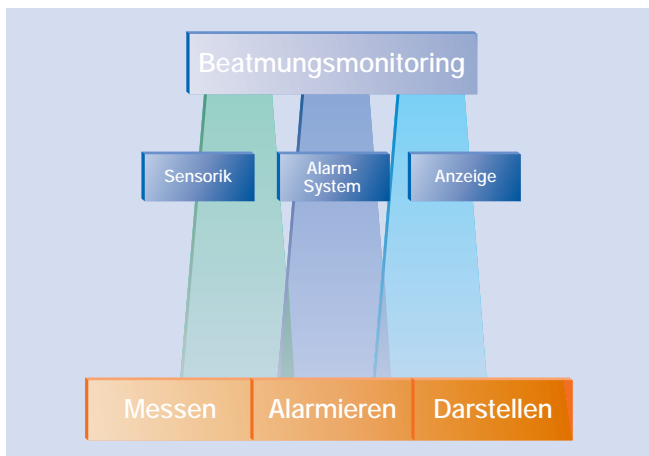
Das Beatmungsmonitoring stellt das gesamte System zur Überwachung in der Beatmung dar. Es werden dabei sowohl Gerätefunktionen als auch der Zustand des Patienten überwacht.

Das Monitoring besteht aus den drei Teilfunktionen Messen, Alarmieren und Darstellen. Die dazu notwendigen Komponenten eines Beatmungsgerätes sind die Sensorik, das Alarmsystem und die Anzeige. Nach neuerem Verständnis gesellt sich als vierte Komponente das Datenmanagement dazu.

Bereits der Ur-Pulmotor hatte eine bescheidene Sensorik. Ein einfaches Instrument zur Messung des Beatmungsdruckes erlaubte eine oberflächliche Beobachtung der Gerätefunktion.

Sensorik, Alarmsystem und die Anzeige sind die Elemente des Monitorings

Die Elemente des Beatmungsmonitorings



Bei den Spiromaten stand zusätzlich eine Meßvorrichtung für das verabreichte Volumen zur Verfügung. Weitere Meßparameter wie die inspiratorische  $O_2$ -Konzentration und das Atemgas- $CO_2$  wurden in den folgenden Gerätegenerationen zunächst über Zusatzmonitore eingeführt. Bei modernen Beatmungsgeräten sind die Meßfunktionen in der Regel im Grundgerät integriert.

Aus den einzelnen gemessenen Werten können weitere Daten durch Berechnungen gewonnen werden. Ein Beispiel für eine berechnete Größe ist der mittlere Atemwegsdruck, der als Durchschnittswert ermittelt wird.

Für die gemessenen sowie für die berechneten Daten gelten meist zulässige Grenzwerte. Werden diese Grenzen überschritten, so tritt ein Alarmsystem in Aktion, das mit akustischen und sichtbaren Signalen Aufmerksamkeit erregt.

Die Grenzwerte zur Patientenüberwachung werden wie im nebenstehenden Beispiel des Atemwegsdruckmonitoring eines UV-1 vom Therapeuten eingestellt. Die Grenzwerte des Gerätemonitorings hingegen werden bei modernen Beatmungsgeräten überwiegend automatisch gesetzt.

Analog zur Entwicklung der Sensorik mit ihrer zunehmenden Integration in das Beatmungsgerät hat sich auch das Alarmsystem der Beatmungsgeräte entwickelt. Die ungeordnete Vielzahl der Alarme aus verschiedenen Beatmungsmonitoren wurde durch ein Alarmmanagement im Beatmungsgerät ersetzt.

Das Alarmmanagement moderner Beatmungsgeräte ordnet jedoch nicht nur die einzelnen Alarme. Vielmehr gibt es z.B. über Textmeldungen detailliert Auskunft über die Alarmursache und deren mögliche Abhilfe – es gibt eine Alarmdiagnose.



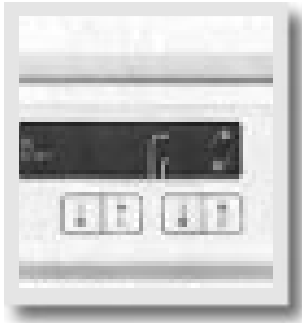
Volumen- und Druckanzeige eines Spiromaten



Atemwegsdruckmonitor des UV-1

Das Alarmmanagement ordnet Einzelalarme nach ihrer Wichtigkeit

## Von der Momentaufnahme zur Trendanalyse.



Digitalanzeige des Minutenvolumens der Evita

Das grafische Monitoring als Standardausstattung eines Intensivbeatmungsgerätes

Parallel zur Sensorik und Alarmierung hat sich die Anzeige der Beatmungsgeräte entwickelt. Einfache Zeigerinstrumente wurden durch Digitalanzeigen ergänzt oder ersetzt. Das Informationsangebot aus dem Beatmungsmonitoring wurde damit vielfältiger, aber die vielen Anzeigen überforderten bisweilen den Betreiber. Eine leichtere Informationsaufnahme wurde durch die Konzentration der Meßwertanzeigen und Textmitteilungen auf einem zentralen Bildschirm erreicht.

Der zentrale Bildschirm ordnet jedoch nicht nur die verschiedenen Anzeigen und Meldungen, er ermöglicht eine völlig neue Form der Meßwertdarstellung: Durch grafische Bildschirmdarstellung werden nicht nur aktuelle Werte, sondern auch deren zeitlicher Verlauf sichtbar.

Derartige grafische Darstellungen waren in der Herz-Kreislaufdiagnostik z.B. als EKG-Registrierungen bereits bekannt. Obgleich der diagnostische Wert eines grafischen Monitorings sehr hoch ist, wurde es in der Beatmung erst mit dem integrierten Bildschirm der EV-A eingeführt. Seitdem gehört es allerdings zur Standardausstattung eines Dräger-Intensivbeatmungsgerätes.

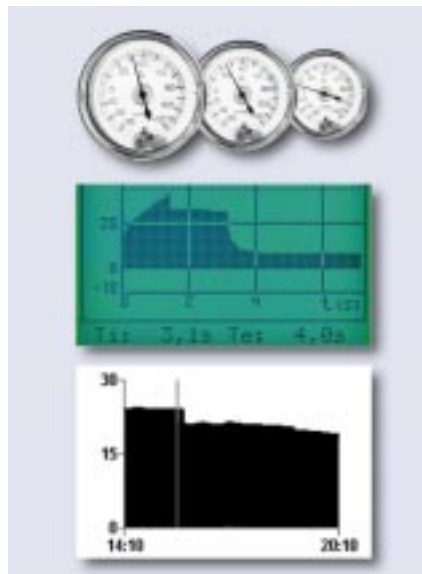
Mit dem grafischen Monitoring können Verlaufsdarstellungen eines Beatmungshubes sichtbar gemacht werden. Die zur Erläuterung der Beatmungsverfahren im vorherigen Abschnitt beschriebenen Beatmungskurven können damit direkt am Beatmungsgerät dargestellt werden. Das mittlere Bild der Grafik auf der nächsten Seite gibt das Beispiel einer Beatmungsdruckkurve

Mit den Beatmungskurven auf dem Bildschirm kann die Geräteeinstellung und deren Auswirkung auf den Patienten kontrolliert werden. Die Moment-



aufnahme der Beatmungskurven werden im modernen Beatmungsmonitoring durch die Darstellung längerfristiger Verläufe ergänzt.

Aus derartigen Darstellungen kann der geübte Therapeut gegebenenfalls Trends erkennen – die Darstellungen werden deshalb auch als Trendverläufe bezeichnet. Sie stehen seit Evita 4 im integrierten grafischen Beatmungsmonitoring zur Verfügung. Das untere Bild der Grafik stellt einen Trendverlauf des mittleren Atemwegsdruckes dar.



Meßwertdarstellung  
des Atemwegsdruckes im  
Beatmungsmonitoring:

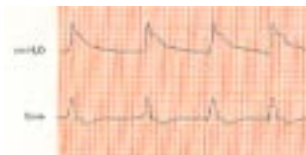
Zeigerinstrument

Beatmungskurve

Trenddarstellung

Der Nutzen, den das grafische Monitoring für die Ausbildung, Diagnose und Geräteanwendung bietet, soll im Folgenden am Beispiel der Beatmungskurven dargestellt werden.

## Vom Lehrmeister zum Diagnoseassistent.



Beatmungskurven aus den  
Ausbildungsunterlagen des  
Spiromaten

Das Prinzip der Atemwegsdruck- und Flowkurven wurde bereits im Abschnitt »Beatmungsverfahren« beschrieben. Die Beatmungskurven dienten dort als Hilfsmittel, um die Evolution der Verfahren zu illustrieren. Der Wert der Beatmungskurven in der Ausbildung war schon lange vor der Einführung der Bildschirmdarstellung erkannt worden: die Gebrauchsanweisungen der Spiromaten enthielten bereits solche Kurven.

Seit der Einführung des integrierten grafischen Beatmungsmonitorings in der EV-A werden die Beatmungskurven zunehmend als Hilfsmittel zur Geräteeinstellung genutzt. So kann aus den Druck- und Flowkurven rasch erkannt werden, ob die eingestellten Atemphasen in Ordnung sind.

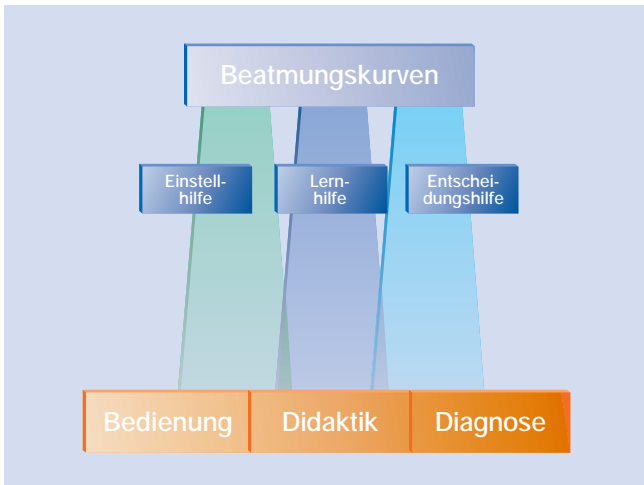
Einstellwerte mit hoher klinischer Bedeutung wie das I:E Verhältnis, also das Zeitverhältnis von Inspirations- und Expirationszeit, sowie die Flowzeit und die Plateaudruckzeit sind damit auf einem Blick erkennbar und müssen nicht mehr als Zahlenwerte zusammengetragen werden. Weiterhin erlauben Beatmungskurven eine rasche Überprüfung der Geräteeinstellung und lassen Einstellfehler erkennen.

Die Überprüfungsmöglichkeiten durch Beatmungskurven beschränken sich jedoch nicht nur auf die Geräteeinstellung und Fehler. Vielmehr erlauben sie einen Einblick in die physiologische Auswirkungen der Beatmung. Sie sind damit ein Instrument der Diagnostik.

So können aus der Druck- und Flowkurve Rückschlüsse auf Atemwegswiderstände und Compliance gezogen werden. Allerdings bilden die beiden Beatmungskurven die tatsächlichen mechanischen Lungenverhältnisse nur undeutlich ab. Aussagen

Hilfsmittel zur  
Geräteeinstellung

Beatmungskurven als  
Hilfsmittel zur Diagnose



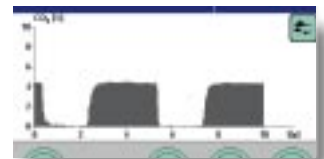
Anwendernutzen der Echtzeitkurven in der Beatmung

über den Gasaustausch oder gar über die Lungendurchblutung sind mit diesen Kurven überhaupt nicht möglich.

Die Forderung nach einer Beatmungskurve mit höherem diagnostischen Wert wurde mit einer dritten Beatmungskurve erfüllt. Die grafische Darstellung des Atemgas- $\text{CO}_2$  gehört seit der Evita 4 als integrierte Capnographie zum Standard des Beatmungsmonitoring.

Mit der Capnographie können Änderungen im Gasaustausch rasch erkannt werden: eine unzureichende Lungenbelüftung oder eine Verschlechterung der Lungendurchblutung würde sich unmittelbar am Verlauf der  $\text{CO}_2$ -Kurve auswirken.

Die Aussagekraft der Capnographie ermöglicht sogar Rückschlüsse auf den Stoffwechsel des Patienten und überschreitet damit die Grenzen des reinen Beatmungsmonitorings.



Echtzeitkurve des Atemgas  $\text{CO}_2$  auf dem Bildschirm der Evita 4

## Beatmungsmonitoring im Computerzeitalter.

So wichtig die Capnographie durch die detaillierte Abbildung physiologischer Vorgänge ist, sie hat einen kleinen Nachteil: Die Ursachen, die zu einem veränderten Capnogramm führen, sind in der Regel nicht eindeutig. Capnographie liefert viele wertvolle Hinweise – aber kaum eindeutige Nachweise.

Eine differenzierte eindeutige Diagnose über den Zustand eines beatmeten Patienten kann allein mit dem integrierten Monitoring eines Beatmungsgerätes nicht mehr geleistet werden. Die Evolution erreicht somit eine Grenze, die mit einem konventionellen Beatmungsgerät nicht mehr überschritten werden kann.

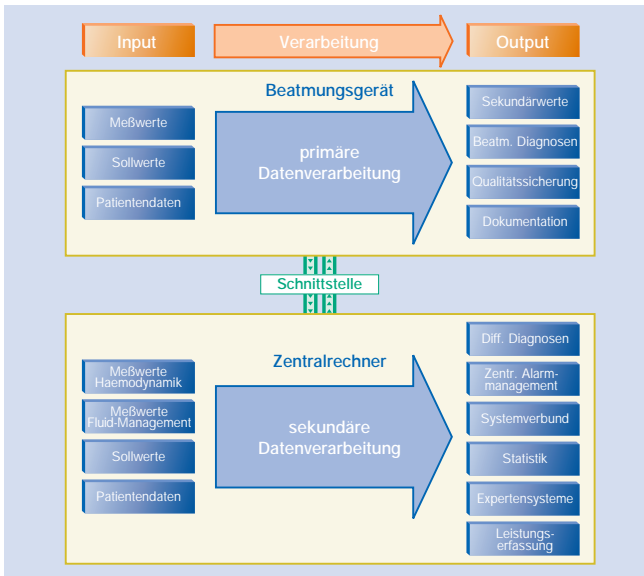
Grenzen des klassischen  
Beatmungsmonitorings

Erweitert man jedoch den Blickwinkel über die Grenzen eines Beatmungsgerätes hinaus, dann gibt es für das Beatmungsmonitoring völlig neue Perspektiven. Dieser Abschnitt der Evolution hat gerade erst begonnen und der überwiegende Teil der nachfolgend dargestellten Organisation eines modernen Monitoring ist derzeit noch Vision.

Vision eines modernen  
Datenmanagements in der  
Beatmung

Definiert man für das Beatmungsmonitoring eine Prozeßkette von Dateninput, Datenverarbeitung und Datenausgabe, so ist anzunehmen, daß künftig nur noch ein Teil davon innerhalb eines Beatmungsgerätes abläuft. Nach wie vor gibt es am Beatmungsgerät einen Dateninput bestehend aus Meßwerten, Patientendaten wie Körpergewicht und Sollwerten und den eingestellten PEEP. Auch eine begrenzte Datenverarbeitung und Datenausgabe zur Diagnose und Dokumentation der Beatmung wird weiterhin im Beatmungsgerät bleiben.

Ein zunehmender Teil der Datenverarbeitung findet jedoch in einem zentralen Computer außerhalb des Beatmungsgerätes statt.



Unter dem Gesichtspunkt der Evolution stellt sich jetzt die Frage, ob die heutigen Beatmungsgeräte in diese Vision eingebunden werden können oder ob hier eine neue, bisher noch nicht realisierte Klasse von Beatmungsgeräten gefordert ist.

Die Anforderungen an ein Beatmungsgerät, das in diese Vision eingebunden werden kann, sind: erstens Flexibilität in der Rechnertechnologie, zweitens freie Kapazität zur Aufnahme neuer Computerbausteine und drittens leistungsfähige Datenschnittstellen.

Betrachtet man unter diesen Gesichtspunkten die Evita 4, so fallen ins Gewicht: erstens weitgehende selbständige Unterkomponenten wie Bedienteil und Pneumatik mit eigener »Rechnerintelligenz« anstelle eines zentralen Mikroprozessors, zweitens freie Kapazitäten in der Rechnerleistung sowie freie Steckplätze für künftige Optionen und drittens eine neue Schnittstellengeneration mit einer fünfzigfachen Leistungsfähigkeit gegenüber einer konventionellen RS232-Schnittstelle.

Die Beatmungsgerätetechnik ist damit bereits jetzt gut gerüstet für die künftigen Anforderungen eines modernen Datenmanagements.

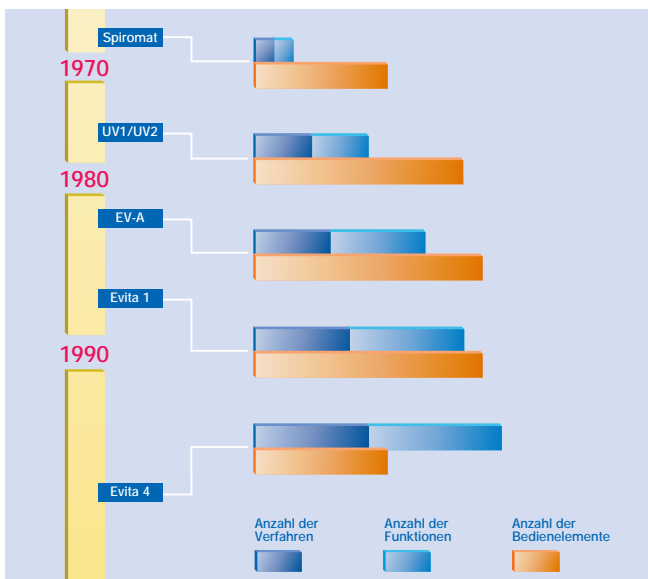
Flexibilität und Leistungsfähigkeit von Computer und Schnittstellen sind die Voraussetzung für ein modernes Datenmanagement

## Leistungsumfang und Bedienung.

Nach den Beatmungsverfahren und dem Monitoring soll abschließend das Bedienkonzept unter dem Gesichtspunkt der Evolution untersucht werden. Im Gegensatz zu den Beatmungsverfahren und dem Beatmungsmonitoring hat sich das Bedienkonzept der Beatmungsgeräte erst sehr spät entwickelt: Die Bedienelemente waren zunächst mehr an die technische Konstruktion als an den Anwender angepaßt.

Die ersten Beatmungsgeräte waren aufgrund ihres geringen Leistungsumfanges noch einfach zu bedienen. Mit zunehmendem Leistungsumfang wuchs jedoch die Anzahl der Bedienelemente. Die Grafik zeigt für verschiedene Geräte die Anzahl der Bedienelemente und den Leistungsumfang:

Die Entwicklung des Leistungsumfanges und der Bedienelemente der Beatmungsgeräte



In der Grafik gelten folgende Vereinfachungen: Der Leistungsumfang eines Beatmungsgerätes setzt sich aus der Summe von Beatmungsverfahren und sonstiger Funktionen zusammen. Bei der Anzahl der Bedienelemente werden nur die Drehknöpfe berücksichtigt.

Nach diesem Schema hatte ein Spiromat lediglich ein Beatmungsverfahren und mit dem Seufzer nur eine sonstige Funktion. Das Ganze war über sechs Drehknöpfe noch recht einfach zu bedienen.

Der UV-2 konnte bereits drei Beatmungsverfahren und drei Zusatzfunktionen: neben dem Seufzer die einstellbare  $O_2$ -Konzentration und die Druckbegrenzung. Die Bedienung wurde mit nunmehr elf Drehknöpfen schon recht kompliziert.

In den folgenden Gerätegenerationen erfand man Tricks, um das Bedienkonzept zu vereinfachen. So belegte man in der EV-A einzelne Drehknöpfe mit zwei Funktionen, damit die Anzahl der Drehknöpfe nicht weiter stieg. Die Tricks erwiesen sich jedoch meist als »kosmetische« Maßnahmen: Das Bedienkonzept sah vordergründig einfach aus – tatsächlich aber wurde die Bedienung komplizierter.

Unter dem Aspekt Bedienung stellte sich die Evolution der Beatmung somit anders dar, als unter den Gesichtspunkten Verfahren und Monitoring: Sie war hier nicht nur durch Fortschritte, sondern auch durch diverse Rückschritte geprägt: die Geräte waren letztendlich nur noch mit erheblichem Schulungsaufwand sicher bedienbar.

Dieser Negativtrend wurde erst durch die Evita 4 unterbrochen. Mit einer neuen Technologie wurde dort erstmals die Anzahl der notwendigen Bedienelemente reduziert und gleichzeitig der Leistungsumfang erhöht.



Spiromat



UV-2



EV-A



Evita 4

## Leistung stark, Bedienung einfach – ein Widerspruch?

Fortschritte im  
Bedienkonzept

Natürlich gab es neben den umseitig beschriebenen Rückschritten in der Entwicklung des Bedienkonzeptes auch bemerkenswerte Fortschritte, wie die Einführung des zentralen Bildschirms als Kontrollinstrument für die vorgenommenen Einstellungen.

Ein weiterer Fortschritt war die Einführung einer Benutzerführung mit Schutzeinrichtungen vor potentiell gefährlichen Einstellungen. So erkannte die EV-A z.B. automatisch einen zu hoch eingestellten Beatmungsdruck oder ein ungewöhnliches Atemzeitverhältnis. Durch Leuchtanzeigen an den entsprechenden Bedienelementen und Meldungen auf dem Bildschirm wurden dem Therapeuten nicht nur Warnungen gegeben, sondern auch gleich Maßnahmen zur Abhilfe vorgeschlagen.

Damit war die Bedienung schon teilweise zielführend und man erreichte gewissermaßen im Dialog mit dem Gerät ohne weitere Hilfe von außen ein Ergebnis wie z.B. die Einstellung eines geeigneten Atemzeitverhältnisses. Die Hilfe, die das Gerät dabei dem Anwender bei der Einstellung anbietet, nennt man Bedienerführung.

Ein Gerät mit guter Bedienerführung wird zunehmend selbsterklärend. Das Bedienkonzept solcher Geräte, das nach dem Erlernen von Grundelementen aus sich heraus verständlich ist, bezeichnet man als intuitiv. Eine intuitive Bedienung wurde erstmalig mit der Evita 4 unter Einsatz einer neuen Technologie realisiert. Die Bedienelemente sind dabei bis auf wenige häufig benutzte Funktionen über einen Bildschirm zugänglich. Mit dieser sogenannten Touch-Screen-Technologie ergeben sich zwei entscheidende Vorteile.

Intuitive Bedienung  
durch ein selbsterklärendes  
Bedienkonzept

Ein erster Vorteil ist die zielführende Bedienung, da grundsätzlich nur diejenigen Bedienelemente





Bildschirmbedienelemente  
der Evita 4

dargestellt werden, die zum aktuellen Zeitpunkt auch wirklich bedienbar sind. Damit verringert sich ihre Anzahl.

Als Beispiel dient hier die Einstellung der Beatmungsparameter in zwei verschiedenen Beatmungsverfahren. Während das eine Verfahren noch neun Parameter benötigt, reichen bei einem anderen bereits vier. Wird gerade keine Einstellung vorgenommen, dann können alle Bedienelemente im Hintergrund verschwinden, und der Bildschirm wird zum reinen Beatmungsmonitor.

Der zweite Vorteil läßt sich aus Erkenntnissen anderer Arbeitsplätze ableiten. Aus Untersuchungen mit Verkehrspiloten weiß man, daß die Wahrnehmungsfähigkeit unter Streß abnimmt. Die Cockpits moderner Verkehrsflugzeuge haben deshalb weniger Instrumente und Bedienelemente als ihre Vorgänger.

Setzt man diese Erkenntnisse auf einen Arbeitsplatz an einem Beatmungsgerät um, dann gewinnt das neue Bedienkonzept auch unter Sicherheitsaspekten Vorteile.

# Beatmung ohne Beatmungsgerät?

## Beatmungsmonitoring

In einer zusammenfassenden Betrachtung läßt sich in der Evolution der Beatmung eine Tendenz erkennen, die in allen drei Grundelementen sichtbar wird: Die Entwicklung zu mehr Flexibilität und Öffnung.

Mit dem klassischen Beatmungsmonitoring schafft das Beatmungsgerät einfache Diagnosefunktionen noch im Alleingang. Doch für eine differenziertere Diagnose wird ein Datenaustausch mit anderen Systemen immer wichtiger.

Der nächste Schritt im Datenmanagement führt zu Expertensystemen, die nicht nur Diagnosen geben, sondern gleich Therapieverschlüsse ausweisen. Dieser Schritt wird zu einer noch engeren Verknüpfung und weiteren Auflösung der Grenzen führen.

## Beatmungsverfahren

Auch bei den Beatmungsverfahren zeigt das klassische Beatmungsgerät die Tendenz zur Öffnung, indem besondere Funktionen des Beatmungsgerätes ausgelagert werden. Ein Beispiel dafür ist die Beimischung von NO\* in das Atemgas zur Behandlung von pulmonaler Hypertonie. Die Dosierung des NO und die Überwachung findet in einem separaten Gerät, dem NOdomo statt. Das Beatmungsgerät liefert dabei über eine Datenschnittstelle die Vorgaben für den Zeitverlauf und die Mengendosierung im NOdomo.

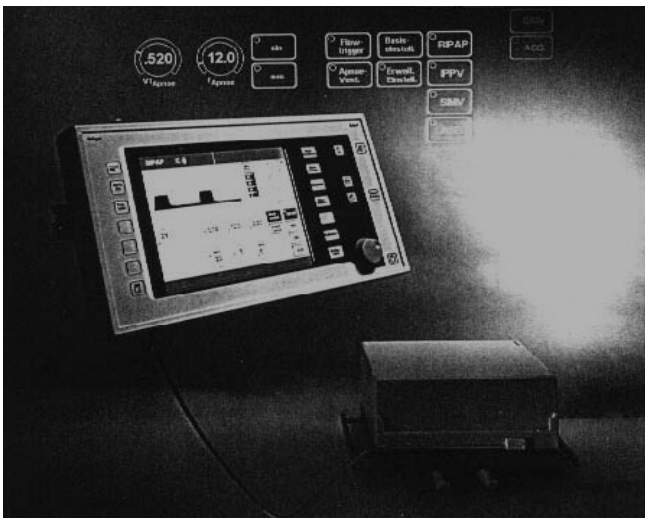
Und auch hier gibt es die Möglichkeit der Weiterentwicklung, indem einzelne Funktionen vom Beatmungsgerät aus bedient und gesteuert und dann von Zusatzgeräten ausgeführt werden. Ein Beatmungsgerät, das bestimmte Spezialfunktionen selbst nur noch steuert und nicht mehr selbst durchführt, ist derzeit noch Vision aber zumindest technisch keine Utopie mehr.

\*) NO = Nitric Oxide (Stickstoff-Monoxid)

Für die Realisierung der umseitig dargestellten Vision müßte am Bedienteil der Evita 4 nicht mal ein Schraubchen geändert werden. Im Bedienkonzept zeigt sich damit die Tendenz zur Öffnung und Flexibilität besonders deutlich. Mit ihrem Bildschirmkonzept ist die Bedienung von allen drei Grundelementen am weitesten in der Evolution fortgeschritten.

Bedienkonzept

Die neue Flexibilität erhöht jedoch nicht nur die Leistungsfähigkeit eines Beatmungsgerätes, sondern eröffnet neue Perspektiven für die Gestaltung eines Arbeitsplatz. Das folgende Bild ist nicht Vision sondern Realität.



Beatmung als Arbeitsplatzkomponente

Das Bild illustriert den neuen Weg in der Evolution der Beatmung: Das klassische Beatmungsgerät löst sich aus seiner Isolation und entwickelt sich zur Arbeitsplatzkomponente Ventilation.

# Literaturverzeichnis

- [1] Baum M., Benzer H. (1993), Einsatz von Atemhilfen. In: Benzer H., Burchardi H., Larsen R., Suter P.M. (Hrsg.), Lehrbuch der Anaesthesiologie und Intensivmedizin. 405 - 437.
- [2] Baum M., Benzer H., Putensen Ch., Koller W., Putz G. (1989) Biphasic Positive Airway Pressure (BIPAP) – eine neue Form der augmentierenden Beatmung. *Anaesthesist* 38: 452 - 458.
- [3] Burchardi H. (1993), Pathophysiologie der respiratorischen Störungen. In: Benzer H., Burchardi H., Larsen R., Suter P.M. (Hrsg.), Lehrbuch der Anaesthesiologie und Intensivmedizin. 335 - 349.
- [4] Colice G.L. (1994), Historical perspective on the development of mechanical ventilation. In: Tobin M.J. (Hrsg.), Principles and practice of mechanical ventilation. 1 - 35.
- [5] Dönhardt A. (1984), Beatmung mit der Eisernen Lunge. In: Lawin P., Peter K., Scherer R. (Hrsg.), Maschinelle Beatmung gestern – heute – morgen. 20 - 27
- [6] Dräger H. (1917), Das Werden des Pulmotors, Dräger Hefte Nr. 57/58. 495 - 496.
- [7] Fürniß H. (1984), Vom Dräger Poliomaten zum Spiromaten. In: Lawin P., Peter K., Scherer R. (Hrsg.), Maschinelle Beatmung gestern – heute – morgen. 28 - 43.
- [8] Hörmann Ch., Baum M., Putensen Ch., Mutz N. J., Benzer H. (1994), Biphasic Positive Airway Pressure (BIPAP) – ein neuer augmentierender Beatmungsmode. *European Journal of Anaesthesiology* 11: 37 - 42.
- [9] Younes M. (1994), Proportional assist ventilation (PAV). In: Tobin M.J. (Hrsg.), Principles and practice of mechanical ventilation. 349 - 369.



**Drägerwerk Aktiengesellschaft**

ab September 1997:

Dräger Medizintechnik GmbH

🏠 Moislinger Allee 53 – 55

23542 Lübeck

☎ (04 51) 8 82 - 33 88

FAX (04 51) 8 82 - 31 97

<http://www.draeger.com>