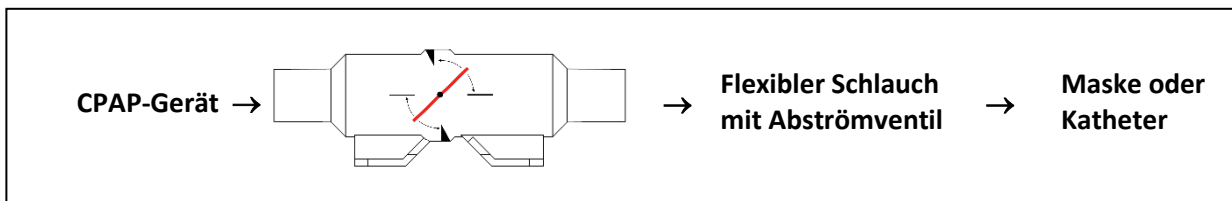


Apparatur zur Erweiterung eines CPAP-Therapiesystems zu einem einfachen Druck-kontrollierten Beatmungssystem

Stand: 30.03.2020

!!! Zur Beachtung: Diese Apparatur ist kein zugelassenes Medizinprodukt !!!

Funktionsweise: Zur Erzeugung von alternierenden Druckniveaus für die Beatmung wird der vom CPAP-Gerät gelieferte Luftstrom durch eine Ventilklappe zyklisch unterbrochen. Bei geschlossener Klappe kann die Luft patientenseitig durch das Ausatemventil entweichen und der Maskendruck fällt auf das PEEP-Niveau von 6 mbar ab. Bei geöffneter Klappe liegt der am CPAP-Gerät eingestellte Druck (abhängig vom Gerätetyp, meistens 20 mbar) für die Inspiration an.



Eigenschaften:

- Druckkontrollierte Beatmung (PCV)
- PEEP: 5 .. 7 mbar dynamisch, CPAP-druckabhängig
- Inspirationsdruck: 13 .. 15 mbar max. CPAP-Druck minus PEEP
- I:E-Verhältnis: 1:1 und 1:2
- Atmungsfrequenz: 8 .. 30 min⁻¹ stufenlos einstellbar

Druckkurve:

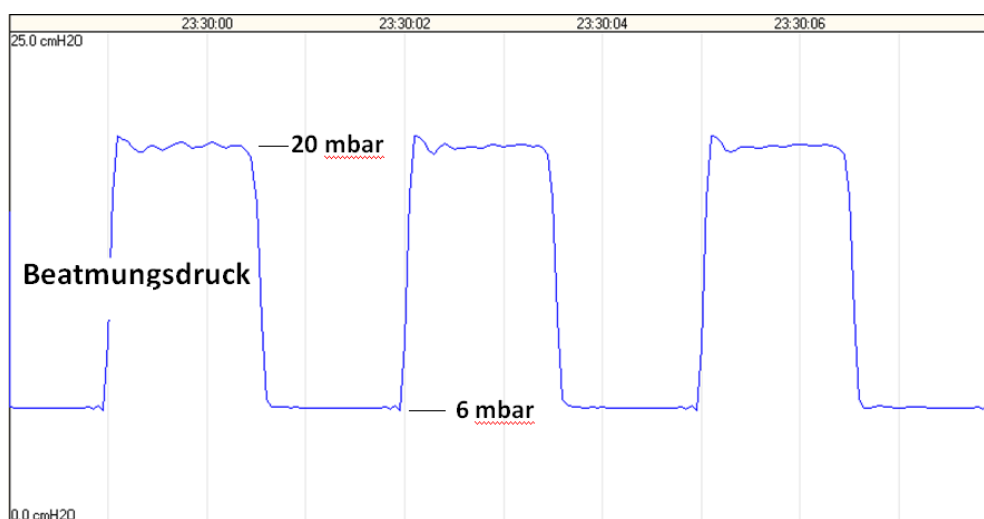


Abb: Der Druckverlauf wurde am verschlossenen Beatmungsschlauchende bei einer Beatmungsfrequenz von 20 min⁻¹ (I:E-Verhältnis: 1:1) mit einem piezoelektrischen Drucksensor gemessen (Darstellungsbereich: 10 s).

Eigenschaften des Systems:

PCV-Beatmungsform	<p>Bei Verwendung üblicher CPAP-Geräte (max. 20 mbar) erlaubt die Apparatur eine zeitgetriggerte, druckkontrollierte Beatmung mit einem PEEP von ca. 5,5 bis 6,5 mbar und einem Inspirationsdruck von 13–14 mbar.</p> <p>Mit speziellen BiPAP-Geräten im CPAP-Modus (max. 25 mbar oder 30 mbar) sind auch entsprechend höhere Inspirationsdrucke applizierbar.</p> <p>Alternativ könnte in Regionen ohne verfügbare CPAP-Geräte auch ein spezielles Gebläse zum Erreichen ähnlicher konstanter Druck- und Flow-Werte konstruiert werden.</p>
I:E-Verhältnis	Zwei Einstellungen, 1:1 und 1:2, werden unterstützt. Der aktive Modus wird über eine LED auf dem Frontpanel angezeigt.
Beatmungsfrequenz	Stufenlose Einstellung der Beatmungsfrequenz zwischen 8 und 30 min ⁻¹ .
Sauerstoffzumischung	<p>Ein Anschlussadapter für die Sauerstoffgabe ist Teil des Systems. Er wird am patientenseitigen Ende des Beatmungsschlauches als Verbindung von Schlauch zur Maske angebracht.</p> <p>Eine patientennahe O₂-Einspeisung erwies sich als effizient, um hohe O₂-Konzentrationen zu erreichen. Der Effekt auf den PEEP war erkennbar (s. Tab. 2).</p>
Zentrale Überwachung	Ein gängiger Intensivmonitor, der üblicherweise zur Überwachung des invasiven Blutdrucks eingesetzt wird, kann über einen Druckmessschlauch mit den patientenseitigen Beatmungsschlauch verbunden werden. Damit ist eine zentrale Überwachung des Beatmungsdruckes inkl. Alarme möglich. Ein Anschlussstutzen für den Monitor ist im Ventilteil integriert.
Atemzugvolumen	Quantitative Messung des Differenzdrucks an der Beatmungsmaske und Echtzeitberechnung des Atemzugvolumens. Anzeige auf dem Frontpanel. [Die Funktion ist in der Konzeption und aktuellen Geräteversion noch nicht umgesetzt]
Keine Pulsoximetrie	Die Pulsoximetrie ist in jeder Station als unabhängiges Überwachungssystem verfügbar. Es ist daher keine Schnittstelle in Planung.
ASB	Eine ASB-Funktion für die Unterstützung von Spontanatmung ist noch nicht integriert, aber geplant.

Sicherheitsfunktionen:

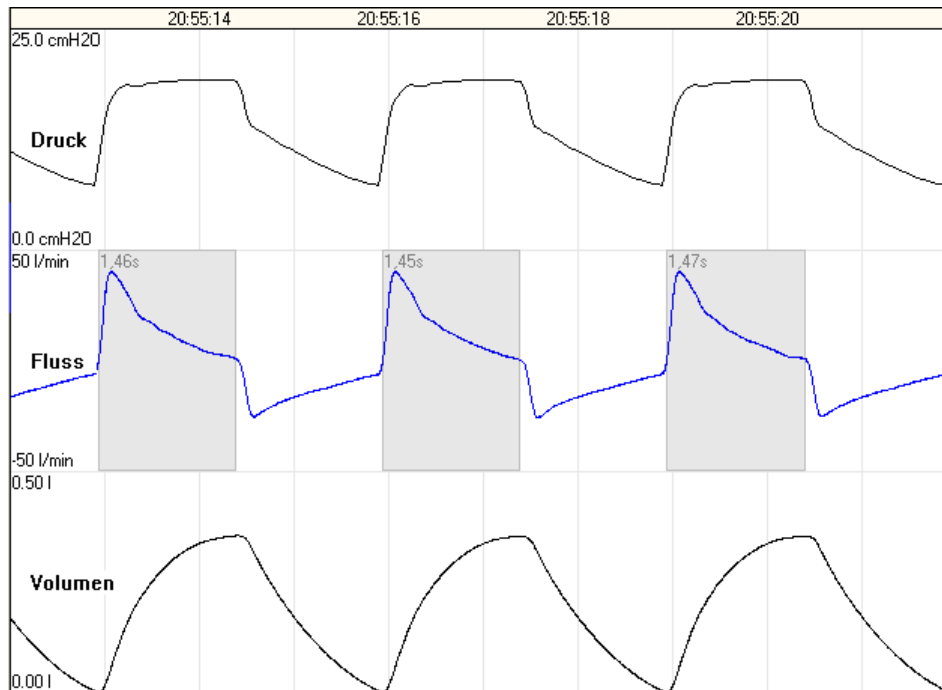
PEEP	Ein PEEP von mindestens 5 bis 7 mbar wird während der Beatmung aufrechterhalten. Er wird dynamisch im Beatmungsschlauch durch die einströmende Luft aus der Apparatur und die am Ausatemventil ausströmende Luft erzeugt. Zur Aufrechterhaltung des PEEP gibt es einen Bypass zwischen CPAP- und Beatmungsschlauch-Seite. Der PEEP ist CPAP-Druck-abhängig (20 mbar → 7 mbar; 14 mbar → 5 mbar) und steht in dieser Version in stetigem Zusammenhang mit dem zugemischten Sauerstofffluss.
Überdruckventil	Ein mit einer Feder verschlossenes Ventil, welches bei einem Druck von 30 - 40 mbar öffnet. [Das Überdruckventil liegt als Prototyp vor und wird mit

	dem Unterdruckventil (s.u.) an ein separates Anschlussstück an der Apparatur angebracht.]
Unterdruckventil	Membran-Unterdruckventil, welches dem Patienten erlaubt, bei geschlossenem Klappenventil schnell einzuatmen. Das Ventil öffnet leichtgängig, wenn im Inneren des Schlauches ein geringerer Druck als in der Raumumgebung herrscht.
Bakterienfilter	Zwischen der Beatmungsapparatur und dem patientenseitigen Schlauch wird ein Bakterienfilter angebracht.
Alarm bei stillstehender Ventilklappe	Es wird ein beständiger akustischer Alarm (Dauer-Piepton) ausgelöst.
Alarm bei Lebensdauer-Ende des Servo-Motors	Um der begrenzte Lebensdauer der Servo-Motors, der die Ventilklappe bewegt, zu begegnen wird die Betriebszeit durch die Software summiert und bei Erreichen einer noch sicheren Betriebsdauer ein kurzer akustischer Alarm ausgelöst. Danach bleibt die rote Alarm-LED dauerhaft an. [Die Alarmfunktion ist integriert, allerdings ist in der aktuellen Version der Servo-Wechsel und Reset durch den Benutzer noch nicht möglich]

Erste Experimentelle Untersuchung der Beatmungsparameter

1. Atemzugvolumen und Atemminutenvolumen

Druck- und Flussaufzeichnungen wurden mit einer sog. „künstlichen Lunge“, Typ *Maquet Test Lung 190*, (Tidalvolumen max. 1 l) durchgeführt. Als patientenseitiges Luft-Auslassventil wurde ein *Wisper Swivel II (Philips Respirationics)* verwendet. Die Flussmessung erfolgte mit einem kalibrierter *Hans-Rudolph-Pneumotachographen* mit einem *MIO-0501 DC-Brückenverstärker* (FMI GmbH). Aus dem Fluss-signal wurde das Atemzugvolumen berechnet.



Die Atemzugvolumina und Atemminutenvolumina sind in Tab. 1 für verschiedene Parameterkombinationen aufgelistet.

In der aktuell vorliegenden Version 4.0 ist eine Tidalvolumenbestimmung mittels Flowmessung noch nicht umgesetzt. Diese ist aktuell in der kommenden Version eingeplant.

Tab. 1: Atemminutenvolumina und Atemzugvolumina an der „künstlichen Lunge“ (Tidalvolumen max. 1 l) bei verschiedene Einstellungen von CPAP-Druck, Beatmungsfrequenz und I:E-Verhältnis.

CPAP-Druck /mbar	Resp. Rate / min ⁻¹	I:E = 1:1		I:E = 1:2	
		Atemzug- volumen / l	Atemminu- ten- volumen / l	Atemzug- volumen / l	Atemminu- ten- volu- men / l
20	10	0,39	3,93	0,41	4,11
20	15	0,40	6,04	0,40	6,02
20	20	0,36	7,13	0,36	7,15
20	25	0,31	7,69	0,31	7,77
20	30	0,28	8,27	0,27	8,21
18	10	0,35	3,52	0,35	3,50
18	15	0,35	5,26	0,35	5,28
18	20	0,31	6,23	0,32	6,37
18	25	0,28	6,88	0,28	7,05
18	30	0,25	7,51	0,25	7,55
16	10	0,30	3,01	0,30	3,01
16	15	0,30	4,50	0,30	4,48
16	20	0,27	5,43	0,28	5,52
16	25	0,24	6,12	0,25	6,22
16	30	0,23	6,77	0,23	6,79
14	10	0,24	2,38	0,24	2,37
14	15	0,24	3,59	0,24	3,56
14	20	0,22	4,41	0,22	4,44
14	25	0,20	5,03	0,21	5,16
14	30	0,19	5,82	0,19	5,84

2. Ermittlung des FiO₂ bei verschiedenen Sauerstoffgaben

Verwendet wurde die „künstliche Lunge“ am Maskenausgang der Beatmungsapparatur. Der FiO₂-Sensor Typ *GE Capnostat-Monitor B450* mit einem *e-sCAiO*-Modul war zwischen Beatmungsschlauch und die künstliche Lunge angebracht.

In das Drucksystem der Apparatur wurden Sauerstoffmengen von 0, ½, 1, 2, 3, 4, 6, 8 und 10 l/min eingespeist und der resultierende FiO₂-Wert für unterschiedliche Drucke und Beatmungsparameter gemessen. Dabei zeigte sich, dass die resultierenden FiO₂-Werte im Rahmen der Messgenauigkeit

unabhängig vom CPAP-Druck (20, 18 und 16 mbar getestet) und I:E-Verhältnis (1:1 und 1:2 getestet) waren. Geringfügige systematische Abweichungen ergaben sich bei der Beatmungsfrequenz.

Tab. 2: FiO₂-Werte für verschiedene Sauerstoff-Einspeisungen in das patientenseitige Beatmungsschlauch-System zwischen künstlicher Lunge und Ausatemventil (*Wisper Swivel II*). Bei der Messung war CPAP-Druck von 20 mbar, I:E = 1:1 und eine Atmungsfrequenz von 20 / min eingestellt.

Sauerstofffluss / l · min ⁻¹	FiO ₂ / %	PEEP / mbar
0	21	5,7
½	25	5,7
1	28	5,8
2	35	6,2
3	38	6,5
4	44	6,6
6	58	6,5
8	68	7,2
10	78	7,8
12	90	8,5

Atemzugvolumina der Apparatur im Vergleich mit einem professionellen Beatmungsgerät

Wir haben einen Test an einem HPS-Simulator (*METI*) mit einem *Primus*-Beatmungsgerät (*Dräger*) durchgeführt. Dabei wurden bei vergleichbaren Einstellungen bei unserer Apparatur und dem Beatmungsgerät die Atemzugvolumina bestimmt.

Die Einstellungen waren: I:E = 1:2 PEEP = 6 Inspirationsdruck = 14

Folgende Atemzugvolumina wurden gemessen:

Atemfrequenz / min	Atemzugvolumen	
	Unsere Apparatur	<i>Dräger Primus</i>
20	ca. 700 ml	ca. 700 ml
25	ca. 500 ml	ca. 450 ml

Kontakt:

Prof. Dr. Martin Koch

breathing.project@physik.uni-marburg.de

