

Moderne Narkosesysteme



Wolfgang Voelckel
AUVA Traumazentrum
Salzburg

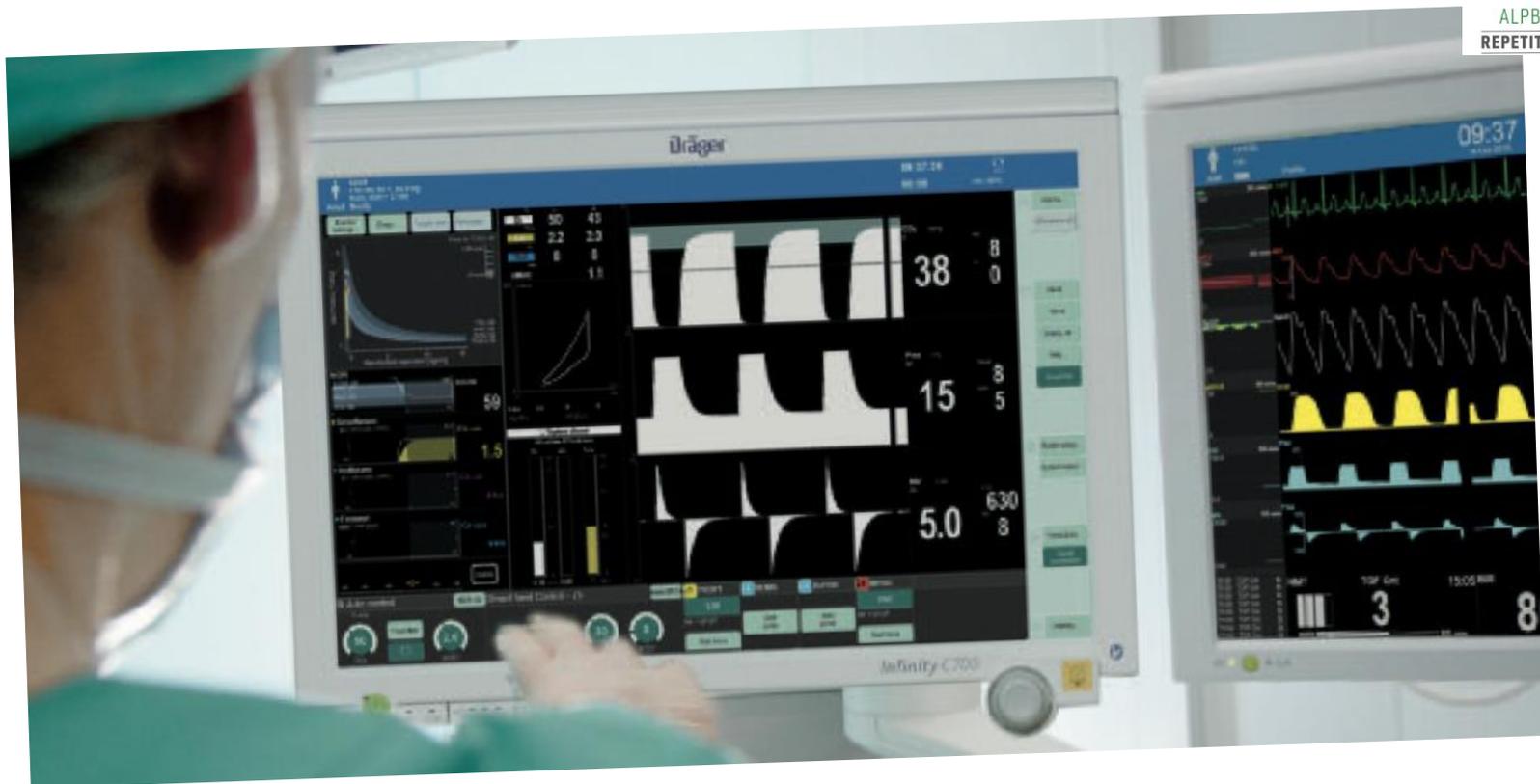
ANÄSTHESIE FORUM



ALPBACH

REPETITORIUM





Anästhesiesysteme – „Big Deal“

Expected Market
Size By 2027

\$29.91 Bn



The increasing number of
surgeries
is the main driver of the
market

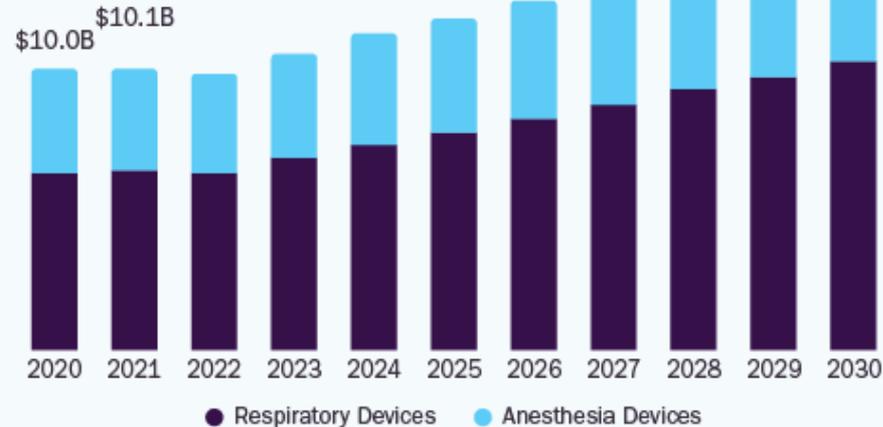


North America
is the largest region
in the market



U.S. Anesthesia & Respiratory Devices Market

size, by product, 2020 - 2030 (USD Billion)



5.6%

U.S. Market CAGR,
2022 - 2030

Source:
www.grandviewresearch.com

Anästhesiesysteme - Businessanalyse

- Geriatriische Patienten
2015: 12%
2050: 22%
- Ambulante Anästhesie
- 1 / 10 eine Op p.a.
- Veränderte Interventionen
- Dynamische internationale Märkte

Indian anesthesia equipment market

By value ₹300 crore 1.5 Mrd. €
2022

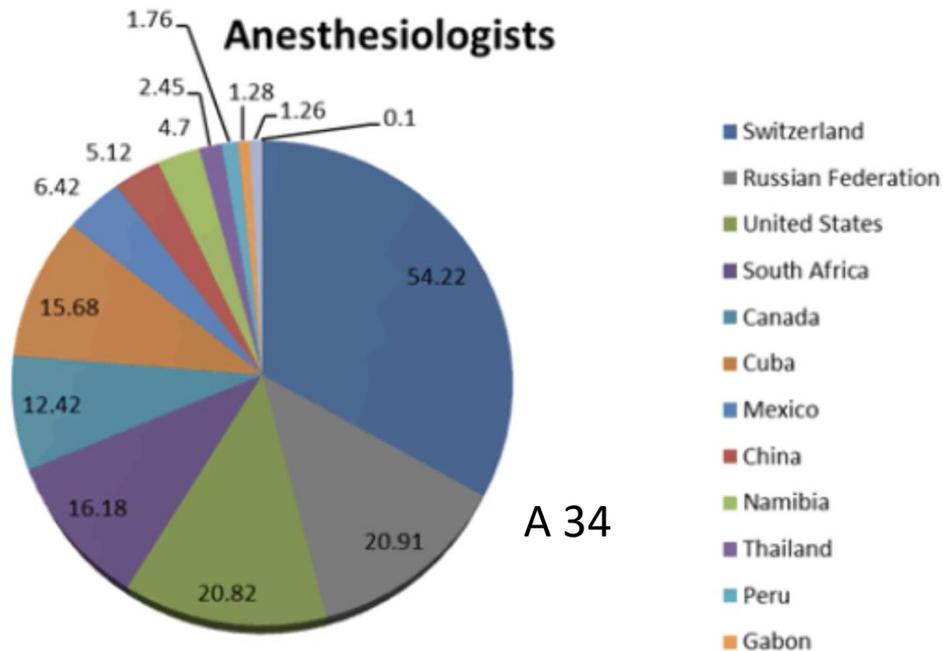


Anästhesiesysteme – neue Geschäftsfelder

- 20 Mio. Ferkelkastrationen p.a. in D
- Anästhesie gesetzlich verpflichtend - 40% der Betriebe 13. Mio €
- Einleitung 70 sec. – Kastrationsbereitschaft 30 sec.



Anästhesiesysteme vs. Anästhesisten



A 34

THE SWITCH

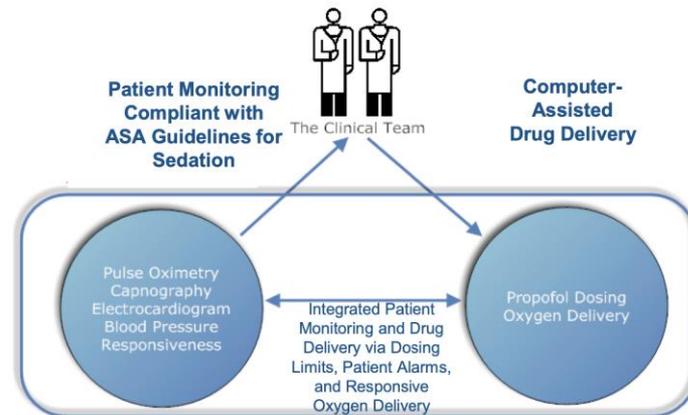
‘We are convinced the machine can do better than human anesthesiologists’



By Todd C. Frankel

May 15, 2015 at 1:36 p.m. EDT

The Washington Post
Democracy Dies in Darkness



Anästhesisten vs. KI

PART OF THE **Johnson-Johnson** FAMILY OF COMPANIES

The SEDASYS® System is indicated for:

- Administration of 1% (10 mg/mL) propofol emulsion
- Minimal-to-moderate sedation
- ASA Physical Status I and II patients
- Patients undergoing colonoscopy or esophagogastroduodenoscopy (EGD) procedures
- Patients 18 years of age or older



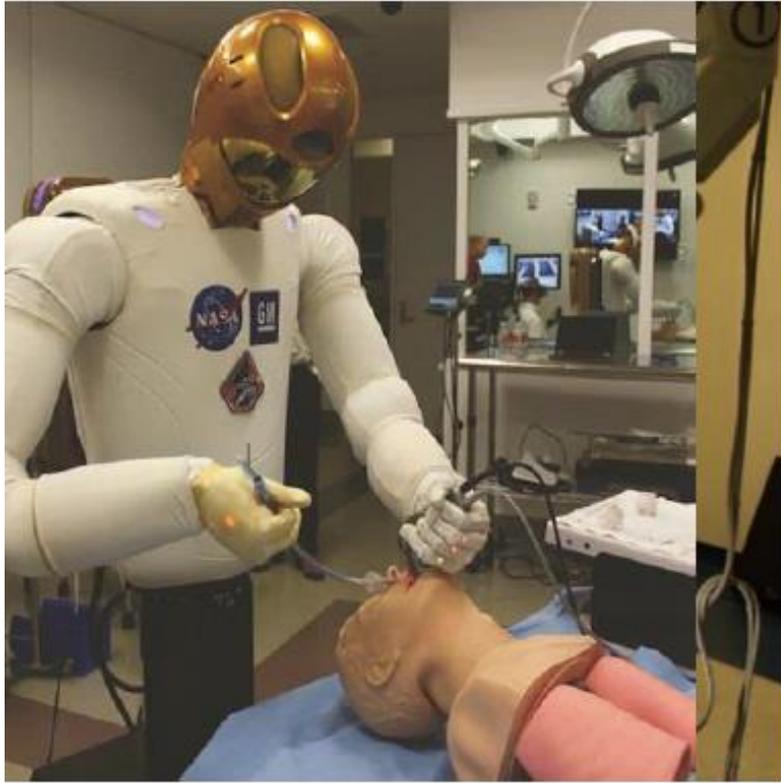
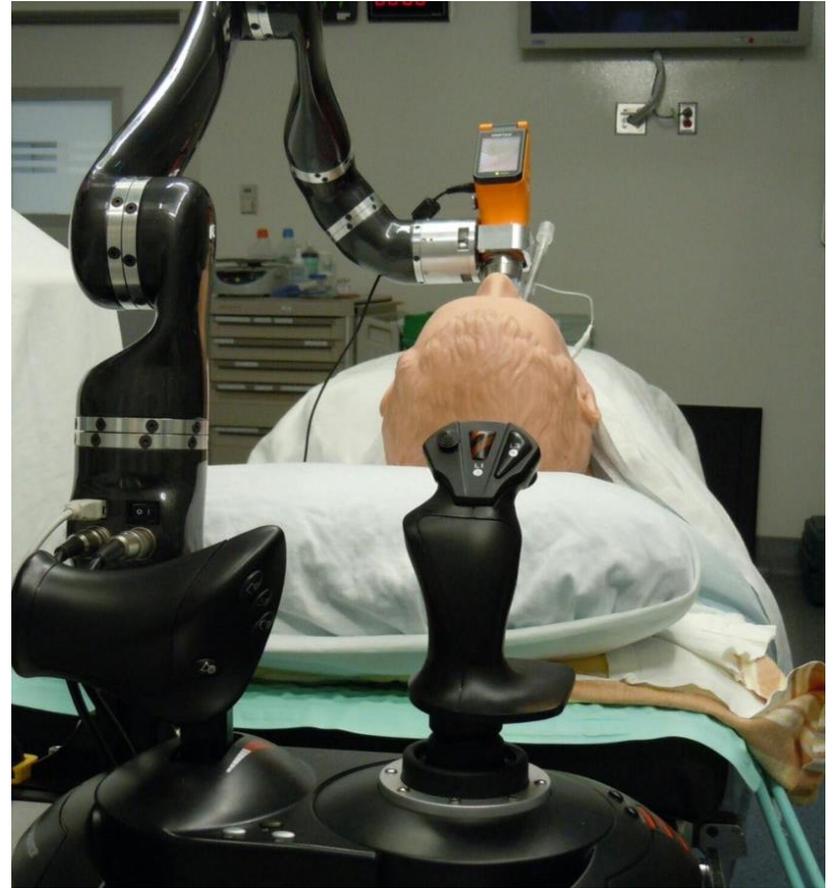
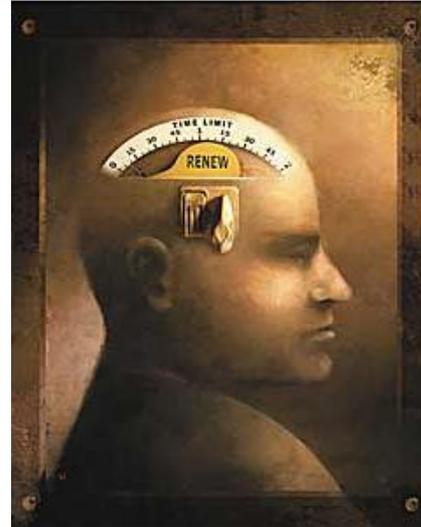


Figure 2: Robonaut 2



Get started...

- **Grundlagen**
- *was man wissen kann*
- **Aufbau und Funktion**
- *was man wissen sollte*
- **Sicherheit**
- *was man wissen muss*

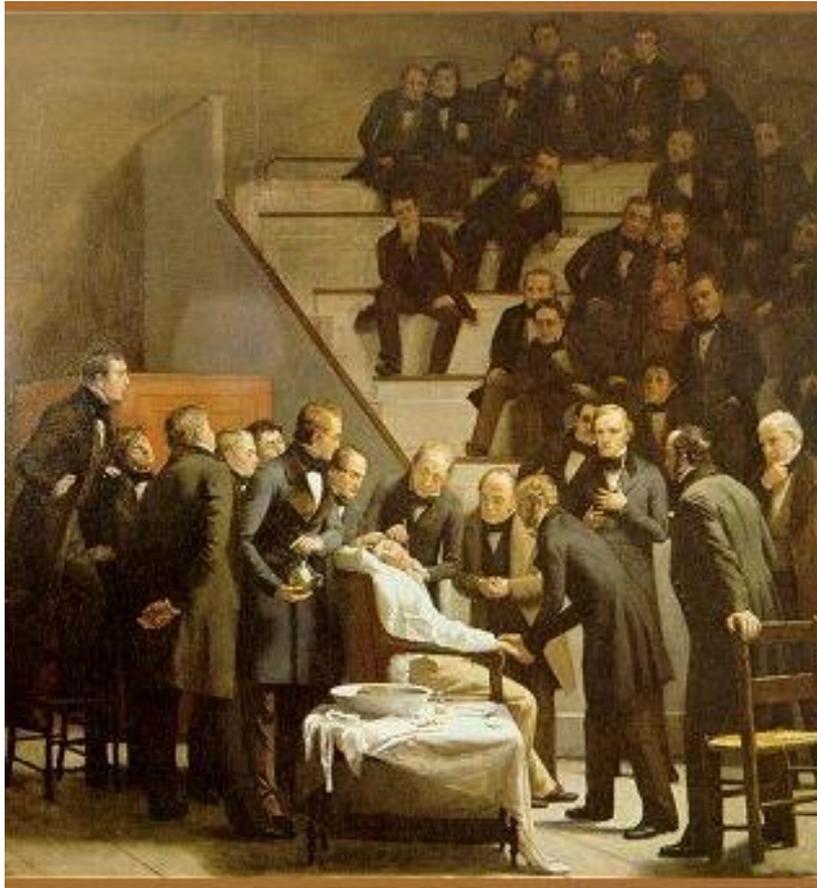


Wissen und Unwissen sind gleichrangige Helden auf ungleichen Schauplätzen

*Kurt Haberstick *1948*

Geschichte

- **1842 Crawford W. Long** **Erste Äthernarkose**
- **1845 Horace Wells** **Lachgasnarkose**
- **1846 William Morton** **Äthernarkose MGH**
- **1847 James Simpson** **Chloroform**
- **1848** **Erster Todesfall**
- **1913 Henry Janeway** **Tracheal Insufflation**



Anästhesiesysteme

- Mechanische Systeme zur Durchführung einer Narkose mit verdampfbaren, volatilen Anästhetika
- **Medizinische Gase aus Versorgungsanlage**
- Druckminderung und Flusskontrolle der Gase
- Beimischung volatiler Anästhetika
- Bereitstellung (und Kontrolle) des Gasgemisches im Beatmungssystem
- Entsorgung des überschüssigen Gasgemisches

Anästhesiesysteme

- Mechanische Systeme zur Durchführung einer Narkose mit verdampfbaren, volatilen Anästhetika
- Medizinische Gase aus Versorgungsanlage
- **Druckminderung und Flusskontrolle der Gase**
- Beimischung volatiler Anästhetika
- Bereitstellung (und Kontrolle) des Gasgemisches im Beatmungssystem
- Entsorgung des überschüssigen Gasgemisches

Anästhesiesysteme

- Mechanische Systeme zur Durchführung einer Narkose mit verdampfbaren, volatilen Anästhetika
- Medizinische Gase aus Versorgungsanlage
- Druckminderung und Flusskontrolle der Gase
- **Beimischung volatiler Anästhetika**
- Bereitstellung (und Kontrolle) des Gasgemisches im Beatmungssystem
- Entsorgung des überschüssigen Gasgemisches

Anästhesiesysteme

- Mechanische Systeme zur Durchführung einer Narkose mit verdampfbaren, volatilen Anästhetika
- Medizinische Gase aus Versorgungsanlage
- Druckminderung und Flusskontrolle der Gase
- Beimischung volatiler Anästhetika
- **Bereitstellung (und Kontrolle) des Gasgemisches im Beatmungssystem**
- Entsorgung des überschüssigen Gasgemisches

Anästhesiesysteme

- Mechanische Systeme zur Durchführung einer Narkose mit verdampfbaren, volatilen Anästhetika
- Medizinische Gase aus Versorgungsanlage
- Druckminderung und Flusskontrolle der Gase
- Beimischung volatiler Anästhetika
- Bereitstellung (und Kontrolle) des Gasgemisches im Beatmungssystem
- Entsorgung des überschüssigen Gasgemisches

Anästhesiesysteme

- Misuse of anesthesia gas delivery equipment is three times more common than equipment failure in causing equipment-related adverse outcomes.
- Lack of familiarity with the equipment and a failure to check machine function are the most frequent causes.
- These mishaps account for only about 2% of cases in the ASA Closed Claims Project database.

Anästhesiesysteme

- Misuse of anesthesia gas delivery equipment is three times more common than equipment failure in causing equipment-related adverse outcomes.
- **Lack of familiarity with the equipment and a failure to check machine function are the most frequent causes.**
- These mishaps account for only about 2% of cases in the ASA Closed Claims Project database.

Anästhesiesysteme

- Misuse of anesthesia gas delivery equipment is three times more common than equipment failure in causing equipment-related adverse outcomes.
- Lack of familiarity with the equipment and a failure to check machine function are the most frequent causes.
- **These mishaps account for only about 2% of cases in the ASA Closed Claims Project database.**

Anästhesiesysteme

- The breathing circuit was the most common single source of injury (39%); nearly all incidents were related to misconnects or disconnects.

Fehler und Gefahren

Anaesthesist 2008 · 57:1006–1010
DOI 10.1007/s00101-008-1434-7
Online publiziert: 17. August 2008
© Springer Medizin Verlag 2008

Redaktion
H. Metzler, Graz

**15 dokumentierte
Todesfälle**

H. Herff · P. Paal · K.H. Lindner · A. von Goedecke · C. Keller · V. Wenzel
Universitätsklinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin,
Medizinische Universität Innsbruck

Lachgasbedingte Todesfälle

Komplikationen durch Verwechslungen
in der Lachgaszufuhr

Tod durch Lachgas

Lachgas statt Sauerstoff verabreicht

Einem 41-jährigen OP-Gehilfen aus dem Oberland war im Oktober 2005 im Ärztehaus Telfs während einer Narkose für eine Bandscheibenoperation Lachgas anstatt Sauerstoff verabreicht worden.

Anästhesiesysteme

- Misuse of anesthesia gas delivery equipment is three times more common than equipment failure in causing equipment-related adverse outcomes.
- **Lack of familiarity with the equipment and a failure to check machine function are the most frequent causes.**
- These mishaps account for only about 2% of cases in the ASA Closed Claims Project database.

Anästhesiesysteme

■ Tabelle 25.1. Einteilung der Narkosesysteme. (Mod. nach Moyers [7])

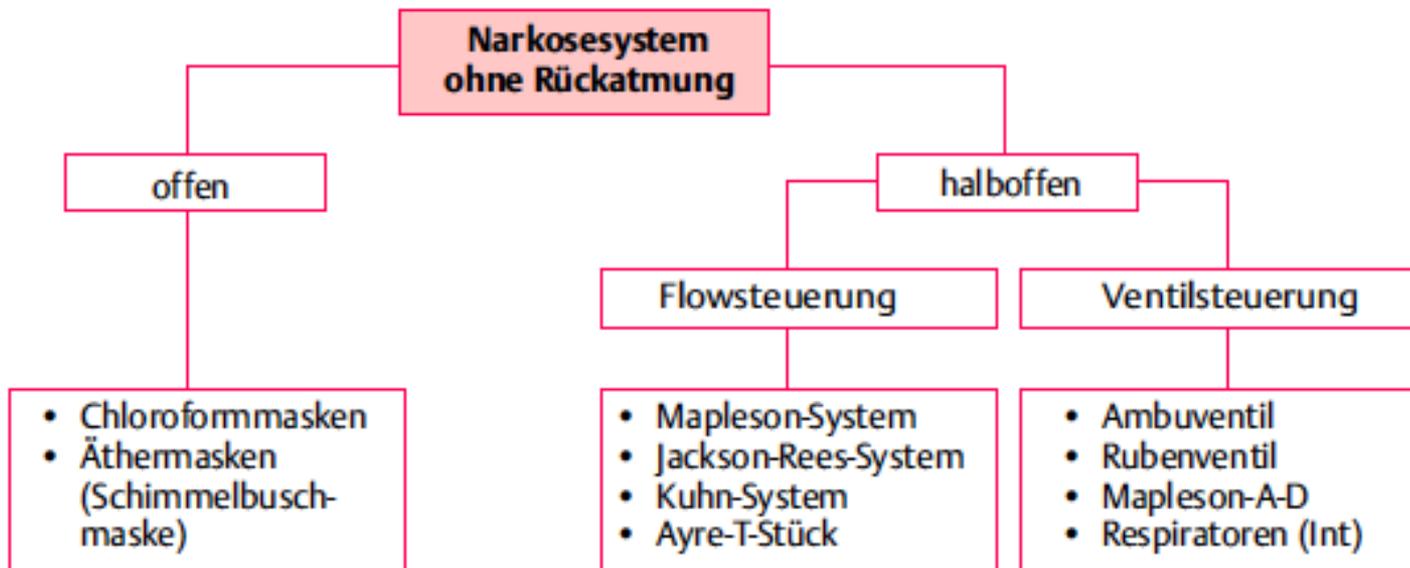
System	Reservoir	Rückatmung
Offen	Nein	Nein
Halboffen	Ja	Nein
Halbgeschlossen	Ja	Teilweise
Geschlossen	Ja	Komplett

Anästhesiesysteme

Einteilung der Anästhesiesysteme in der Modifikation nach Schreiber

- Offen → keine Rückatmung
- Halboffen → partielle Rückatmung ohne Kohlendioxidabsorption
- Halbgeschlossen → partielle Rückatmung mit Kohlendioxidabsorption
- Geschlossen → komplette Rückatmung mit Kohlendioxidabsorption

Anästhesiesysteme



Äthermaske - offen

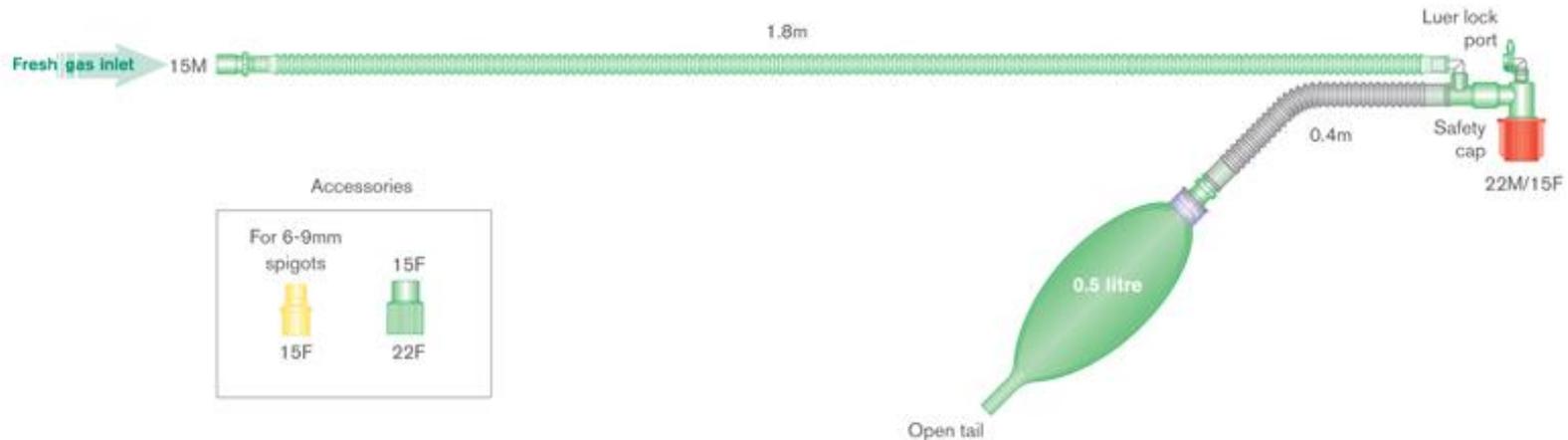
- Keine exakte Dosierung
- Unbekanntes Gasgemisch
- Kein Frischgasreservoir
- Raumluft
- Eigenatmungsabhängig



Halboffen – Flowsteuerung

Ayre T-Piece – „Mapleson F“

- Keine Rückatmung wenn $FGF \geq 3 \times AMV$



Memo Halboffene Systeme - Flowsteuerung

- Systeme für Kinder < 20kg KG



Halboffene Systeme - Ventilsteuerung

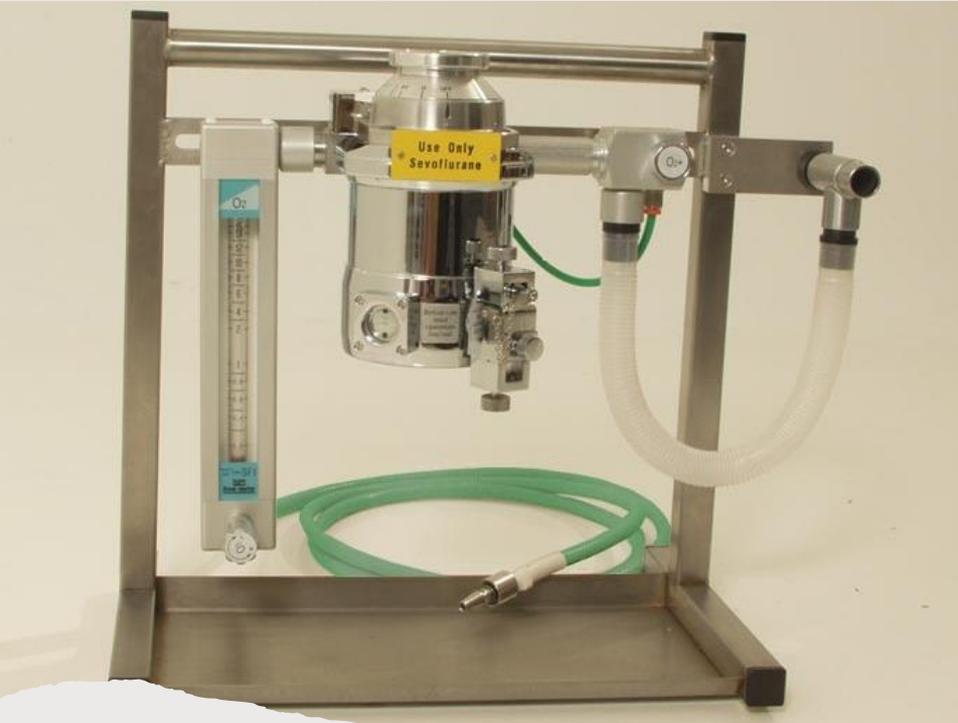
- **Demand Flow Geräte**
- Gasfluss nur während Inspiration
- Fluss = Atemminutenvolumen
- Ambu – Beutel (Ventilsteuerung)



Halboffene Systeme - Ventilsteuerung



Halboffene Systeme - Ventilsteuerung



Halboffene Systeme - Flowsteuerung

- Handbeatmungssysteme
- Teil der Ausatemluft wird wieder eingeatmet
- CO₂ nicht gebunden

- Systematisierung nach Mapleson A-E
- Mapleson D – Kuhn bzw. Jackson Rees
 - Frischgaseinlass
 - Handbeatmungsbeutel
 - Druckbegrenzungsventil

Halboffene Systeme - Flowsteuerung

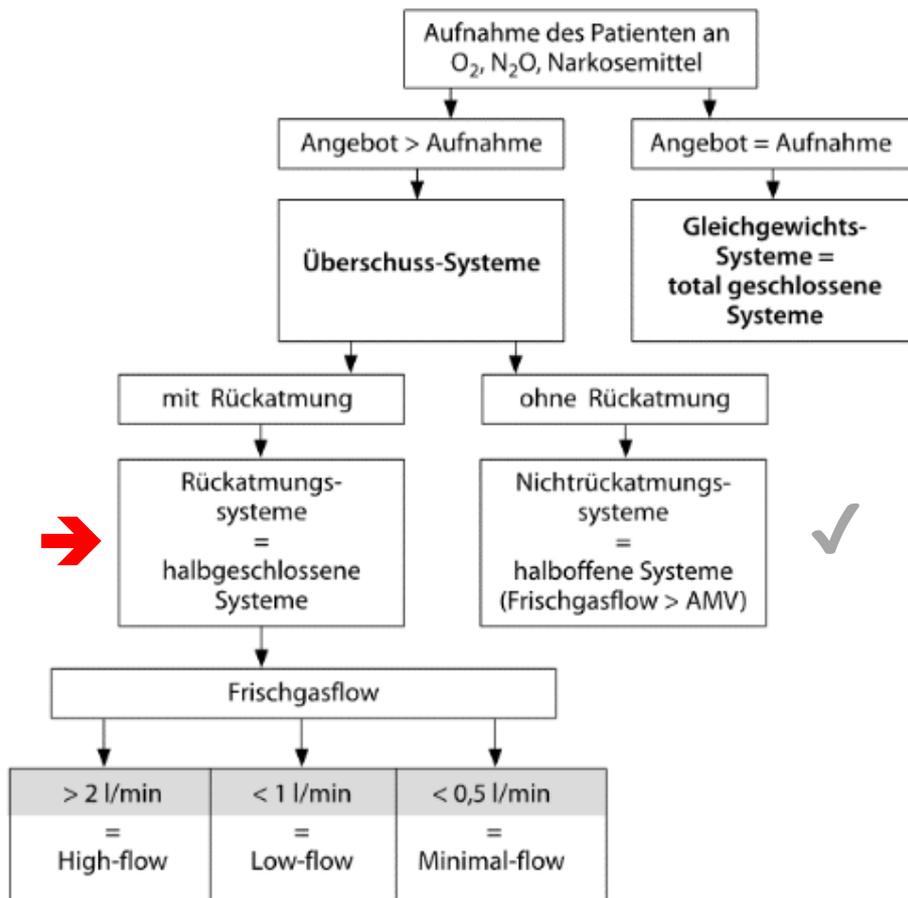
- Ziel Frischgasatmung
- Ohne Reservoir bzw. konst. Flow: $FGF > 2-3 \times AMV$
- Mit Reservoir $FGF \geq AMV$
- Ausatemschenkel zur Atmosphäre offen
- Bei manueller Beatmung **immer** Rückatmungsanteil
- Effektive CO_2 Elimination  Atemminutenvolumen 

Memo Halboffene Systeme

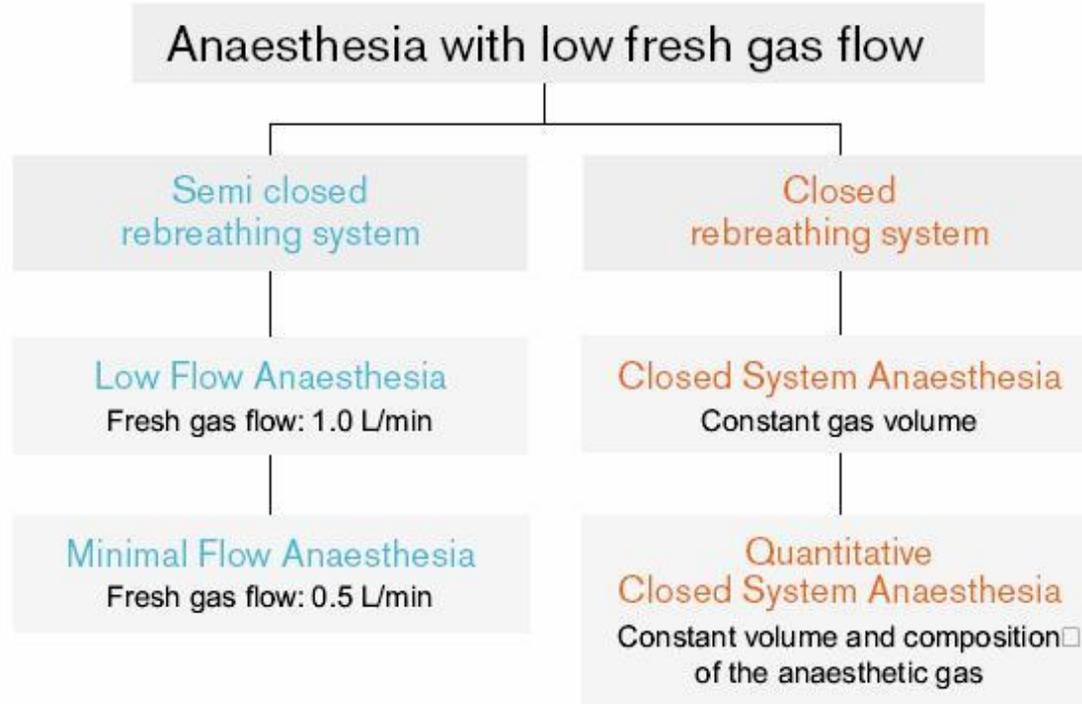
- **Vorteile:**
- Technisch Einfach
- Geringe Atemarbeit
- Geringes kompressibles Volumen
- Gute Steuerbarkeit der Narkosegaskonzentration
- Zusammensetzung Narkosegas = Frischgas

Memo Halboffene Systeme

- **Nachteile:**
- Hoher Gasverbrauch
- Umweltbelastung
- Atemgasklimatisierung erforderlich



Anästhesiesysteme mit Rückatmung



Rückatmungssysteme

- Teil des Ausatemgas nach CO_2 Elimination rückgeführt
- Unidirektionaler Frischgasfluss
- O_2 Aufnahme $<$ FGF $<$ AMV
- Ausmaß der Rückatmung \approx FGF

- Partielle Rückatmung = halbgeschlossenes System

- $\text{FGF} > \text{AMV}$ = funktionell halboffenes System

Low - Flow Anästhesie

- Rückatmungsanteil mind. 50%
- Ab FGF von 1-2 l/min



Low - Flow Anästhesie

- **Narkosegaszusammensetzung**

- durch Ausatemluft (Rückatemanteil) bestimmt
- Bei niedrigem FGF FiO_2 abhängig von O_2 Aufnahme
- O_2 Konzentration im FGF \uparrow um z.B. 30% zu halten
- Narkosemittelmenge \downarrow – höhere Verdampfereinstellung
- FGF individuellem Verbrauch anpassen
- Große Latenz bei Veränderungen (Zeitkonstante)

Low - Flow Anästhesie

	Frischgasflow			Frischgas- O ₂ -Anteil (%)	F _I O ₂
	Gesamt l/min	O ₂ l/min	N ₂ O l/min		
„halboffen“	9	3	6	30	0,3
High-flow	3	1	2,0	30	0,3
Low-flow	1,0	0,5	0,5	40–50	0,3
Minimal- flow	0,5	0,3	0,2	50–60	0,3
total ge- schlossen	0,4*	0,3	0,1	> 70	0,3

Low - Flow Anästhesie

	Halo- than Vol.-%	Iso- fluran Vol.-%	Enflu- ran Vol.-%	Sevo- fluran Vol.-%	Des- fluran Vol.-%
MAC-Wert	0,8	1,2	1,7	2	6-7
High-flow	1,0	1,5	2,5	2,5	4-8
Low-flow	1,5-2,0	2,0	2,5-3,0	3	4-8
Minimal- flow	2,5-3,0	2,5	3,0-3,5	3,5	plus 1%

Zeitkonstante

- Geschwindigkeit Ein- bzw. Auswaschproz
- Umgekehrt proportional zum FGF
- Nach 3 Zeitkonstanten: Konzentration $\approx 95\%$ FGF

$$t = \frac{\text{Vol}_{\text{System}}}{\text{Vol}_{\text{FG}} - \text{Vol}_{\text{Aufn}}}$$

$\text{Vol}_{\text{System}}$ = Gesamtsystemvolumen
 Vol_{FG} = Fresh Gas Flow
 Vol_{Aufn} = Nitrogenaufnahme

Low Flow – 3 Zeitkonstanten 95% va. 10 min

Zeitkonstante	
High-flow	2 min
Low-flow	11 min
Minimal-flow	50 min
	% der Sollkonzentration
1 x t	63
2 x t	87
3 x t	93

Aufnahme O₂, N₂O

- O₂ etwa Grundumsatz
- Brody Formel: $VO_2[\text{ml}/\text{min}] = 10,15 \times \text{KG} [\text{kg}]^{0,75}$
- **3-4 ml O₂ / kg KG / min**
- Lachgasaufnahme exponentiell abnehmend
- Severinghaus Formel: $VN_2O = 1000 \times t^{-1/2}$
- **1,5 ml N₂O / kg KG / min**

Halbgeschlossens System – Low Flow

- Untere Grenze FGF bestimmt durch Systemqualität
- Kosten- und Umweltfaktoren
- Atemgas – Befeuchtung und Temperatur

Geschlossenes System – Minimal Flow

- Anforderungsprofil
 - Narkosegasverdampfer
FGF unabhängig
 - Maximale Dichtigkeit
 - CO₂ Absorberkapazität hoch
 - Messung aller Gase im System
 - Autoregulation von FGF
bei Einstellungsänderung

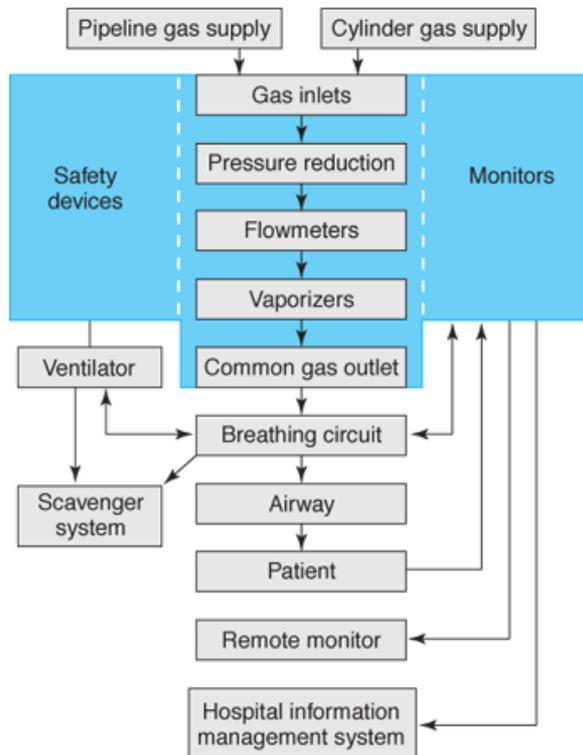
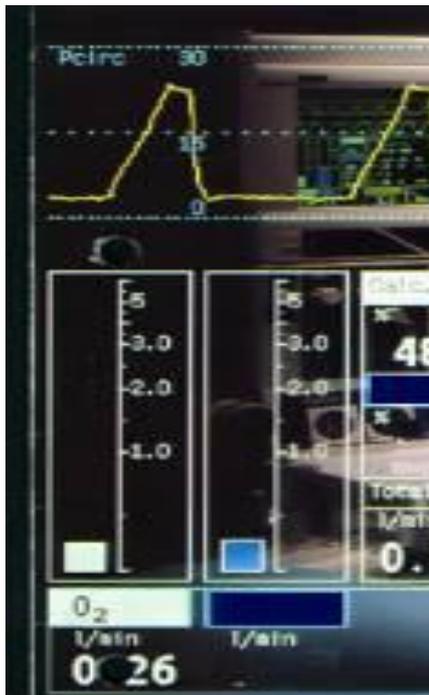


Geschlossenes System

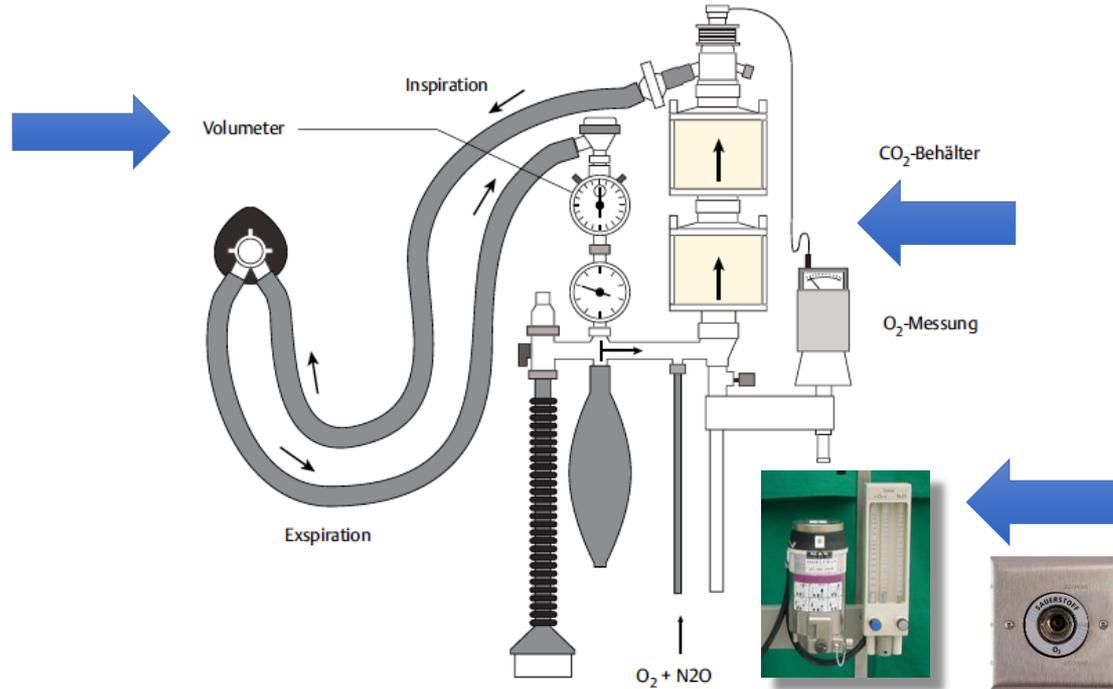
- Kontraindikationen:
 - MH
 - Bronchospasmus
 - Fremdgasakkumulation (CO)
 - Rauchgasvergiftung
 - Septikämie
 - Leckage (Tubus, LMA, Tubes)
 - Ausfall Gasmessung



Systemkomponenten

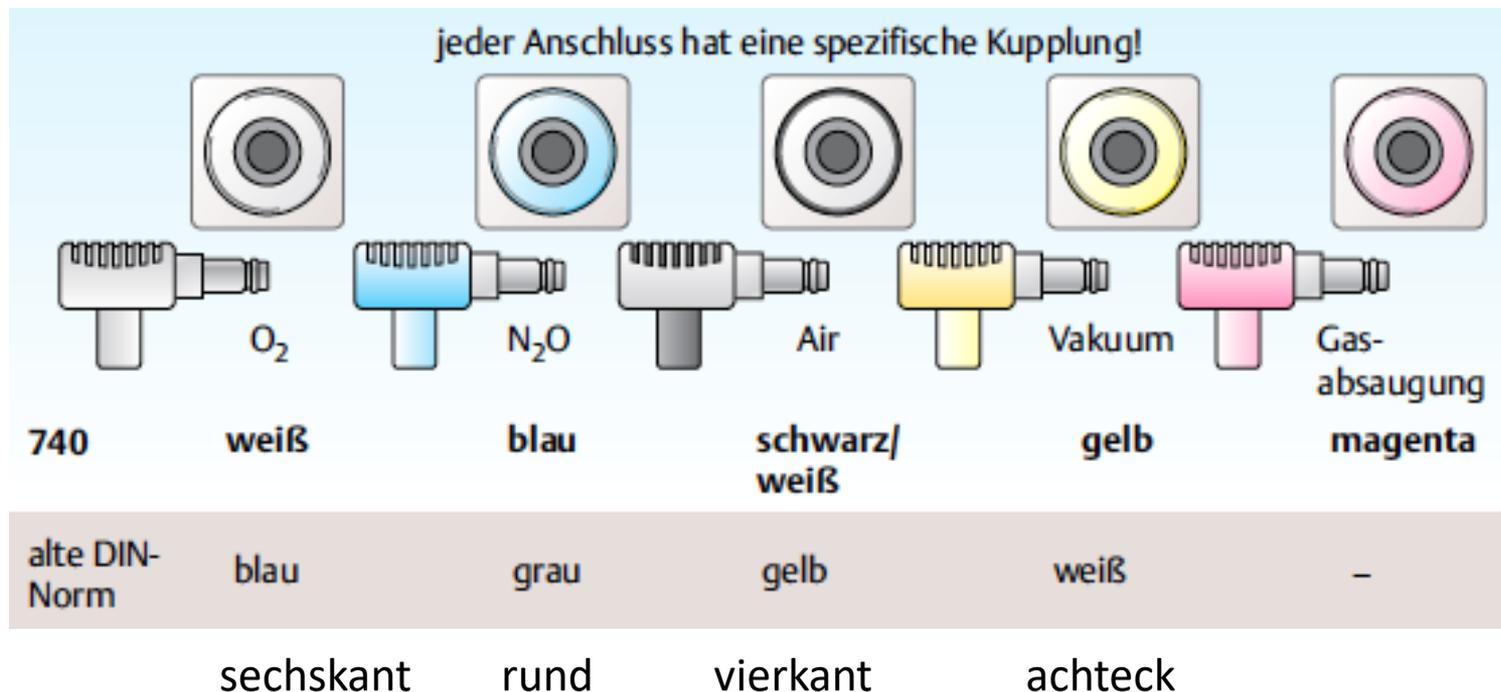


Systemkomponenten



Gasversorgung

- Farbkennzeichnung EN 1089 – Med. Gase



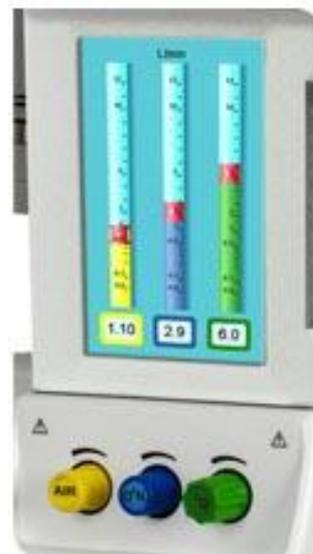
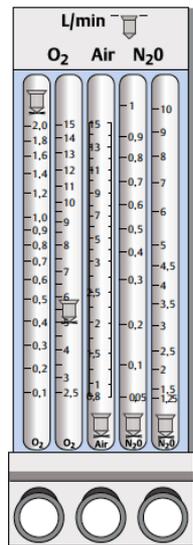
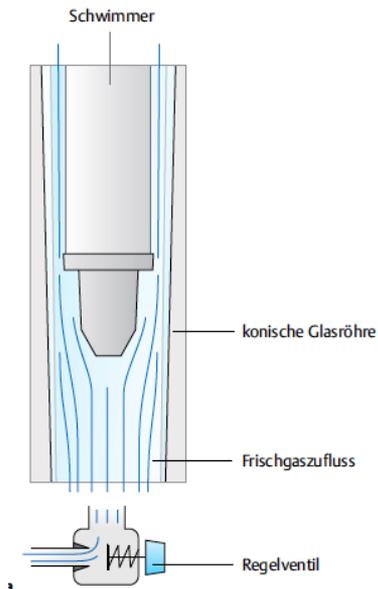
Gasversorgung

- Berechnung O_2 Gasvorrat:
- Flaschendruck (bar) x Volumen Flasche (l)
- Berechnung N_2O Gasvorrat:
- Wiegen – da N_2O bei Druck > 52 bar flüssig
- 1 kg N_2O = 500 l N_2O
- Medizinische Gase = Arzneimittel (keimarm)



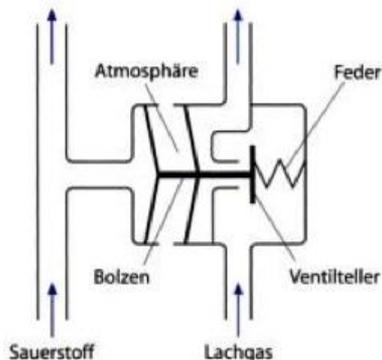
Gasdosierung

- Gasfluss mechanisch oder elektronisch gesteuert



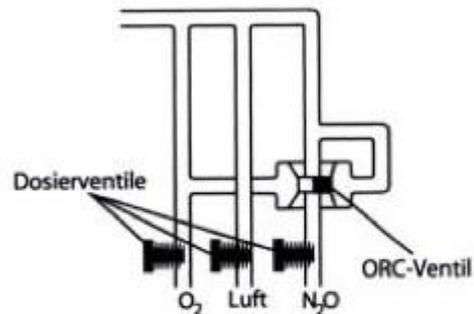
Lachgassperre

- Ausfall O₂ Versorgung bei O₂ / N₂O Narkose



■ Abb. 25.5. Lachgassperrventil: Die Feder schließt das Lachgasventil. Erst wenn im O₂-Schenkel ein Überdruck herrscht, wird der Bolzen nach rechts gedrückt und das Lachgasventil öffnet sich

Keine Garantie gegen
hypoxisches Gasgemisch!

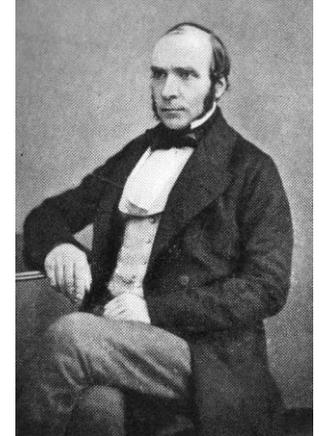


■ Abb. 25.7. Oxygen-ratio-control-Ventil: Wird der Durchfluss durch das O₂-Ventil reduziert, so verringert sich dementsprechend auch der Druck. Der dadurch erhöhte Lachgasdruck in der ORC-Ventil-Kammer schließt das Ventil entsprechend

Oxygen-ratio-control Ventil

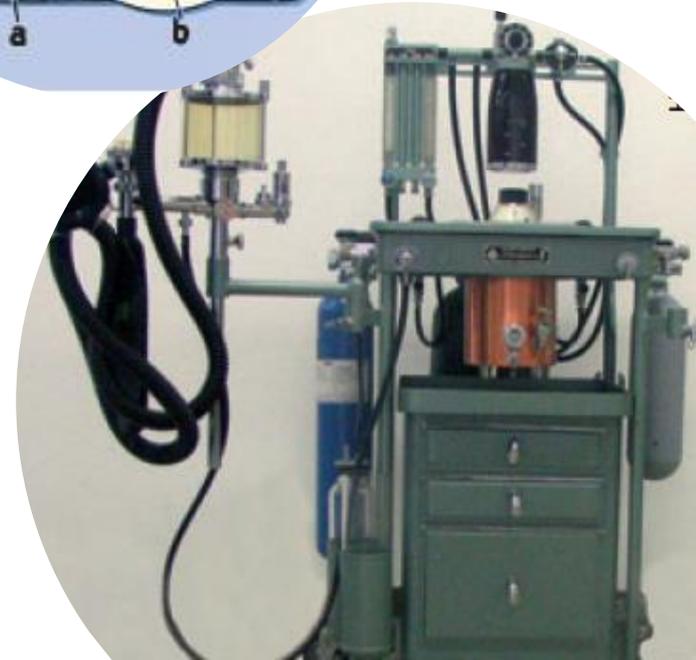
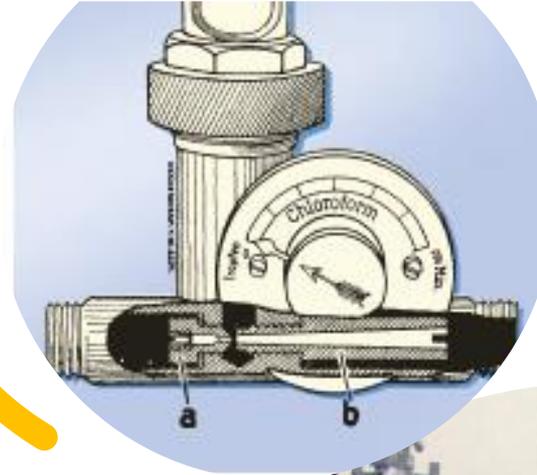
Narkosegasverdunster

- 1847 Einführung Äthernarkose – Todesfälle
- Falsche Dosierung – Morbidität – Hygiene
- John Snow - Dosierungstabellen



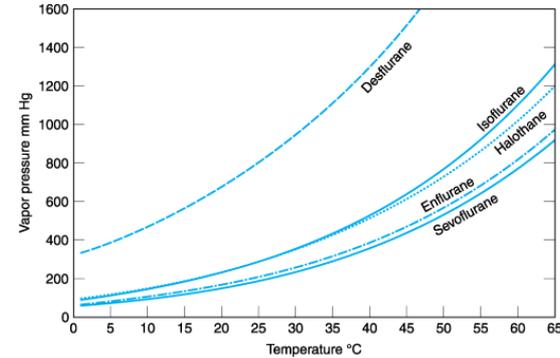
Narkosegasverdunster

- Injektorprinzip (Dräger 1905)
 - Verdunstung in Tropfkammer
- Sprudelsystem (USA / GB)
 - O₂ durch Narkosegas geleitet
- Boyle Bottle
 - Oberflächenverdunster
 - Sprudelsystem kombiniert



Narkosegasverdunster

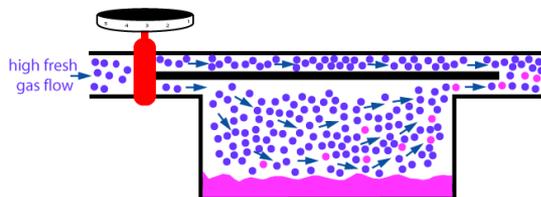
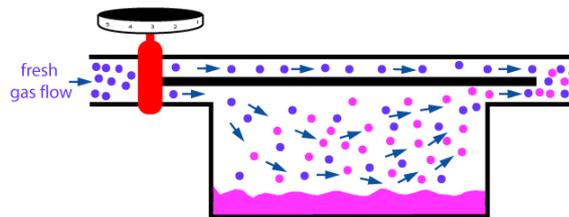
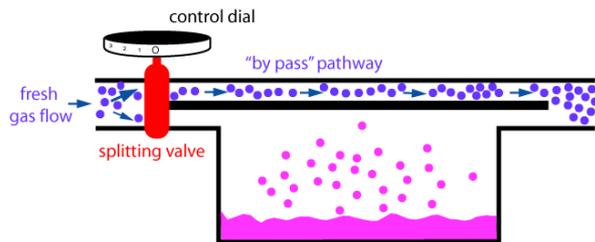
- Problemkreise:
- Temperaturabhängigkeit
- Frischgasfluss
- Dosierung



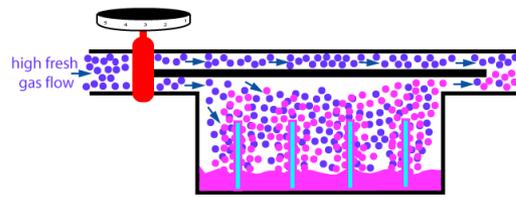
Physikalische und chemische Eigenschaften von Enfluran, Isofluran, Desfluran und Sevofluran

	Enfluran $C_3H_2OClF_5$	Isofluran $C_3H_2OClF_5$	Desfluran $C_3H_2OF_6$	Sevofluran $C_4H_3OF_7$
Struktur	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \quad \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{F} \quad \text{F} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{H} \quad \text{F} \\ \quad \quad \\ \text{F}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{F} \quad \text{Cl} \quad \text{F} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{H} \quad \text{F} \\ \quad \quad \\ \text{F}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{F} \quad \text{F} \quad \text{F} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{F}_3\text{C} \quad \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{F} \\ \quad \quad \\ \text{F}_3\text{C} \quad \quad \text{H} \end{array}$
Siedepunkt [°C] bei 101,3 kPa/760 mmHg	56,5	48,5	22,8	58,5
Dampfdruck [kPa/mmHg] bei 20°C	22,9/172	31,9/240	88,5/669	21,3/160

Narkosegasverdunster

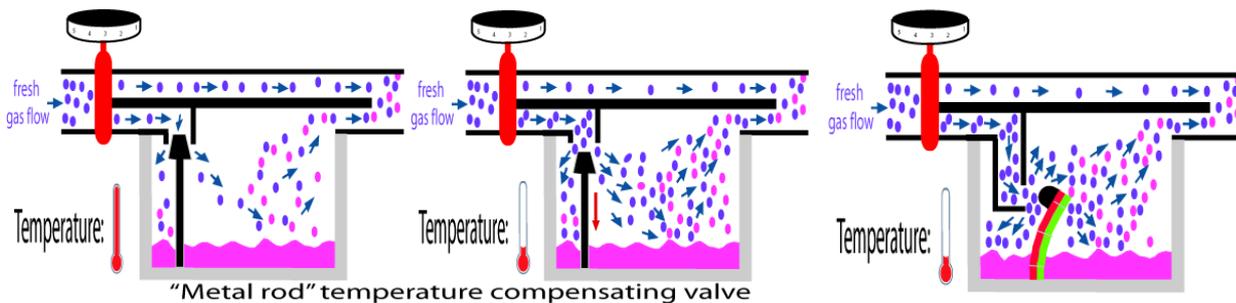
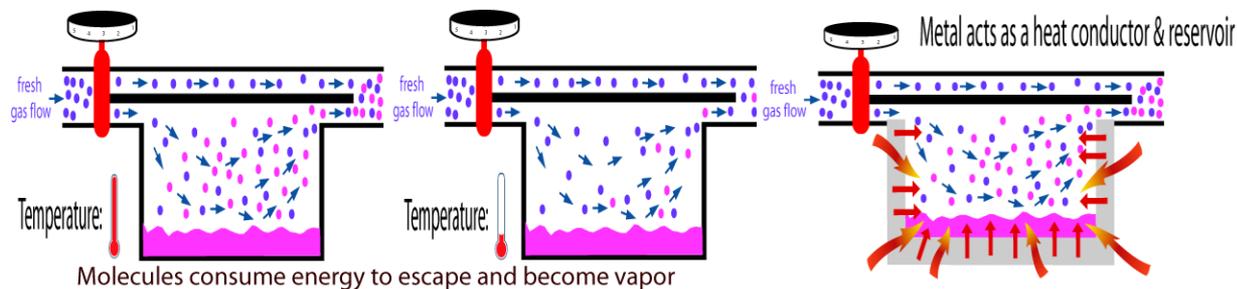


At high flows, there is inadequate vaporisation



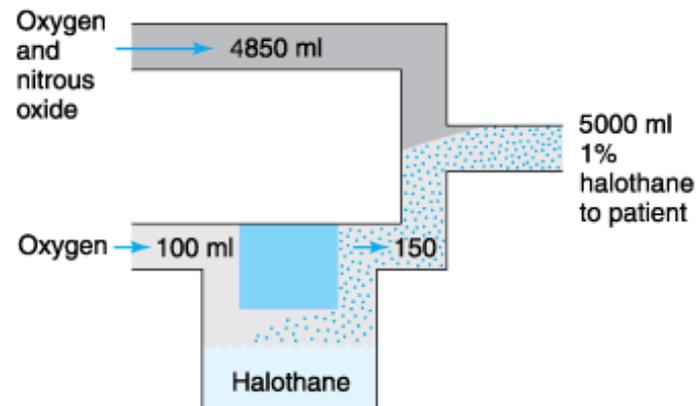
The wicks improve vaporisation

Narkosegasverdunster



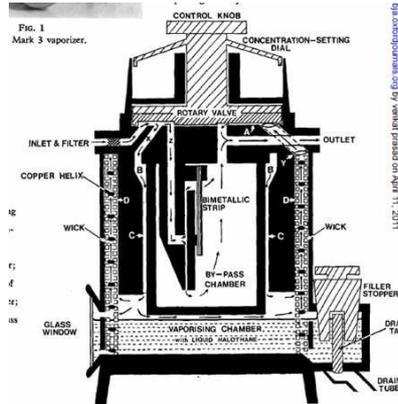
Narkosegasverdunster

- 1948 Copper Kettle
- Behälter – Gasführung – Grenzfläche



Narkosegasverdunster

- 1956 Einführung Halothan
- Geringere Therapeutische Breite
- Erster Präzisionsvapor Flutec Marc 1



Narkosegasverdunster

- Bypass - System

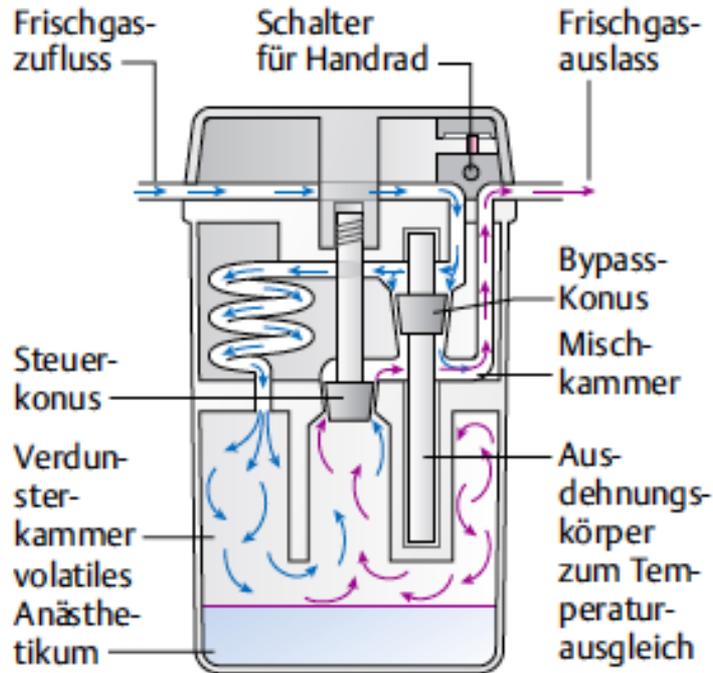
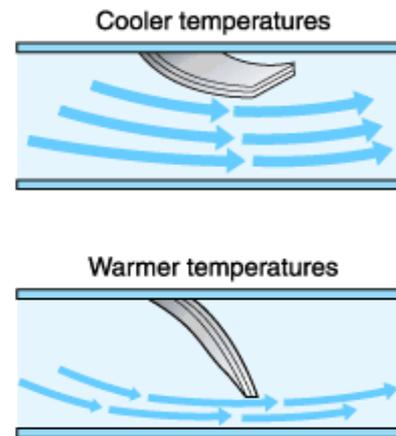
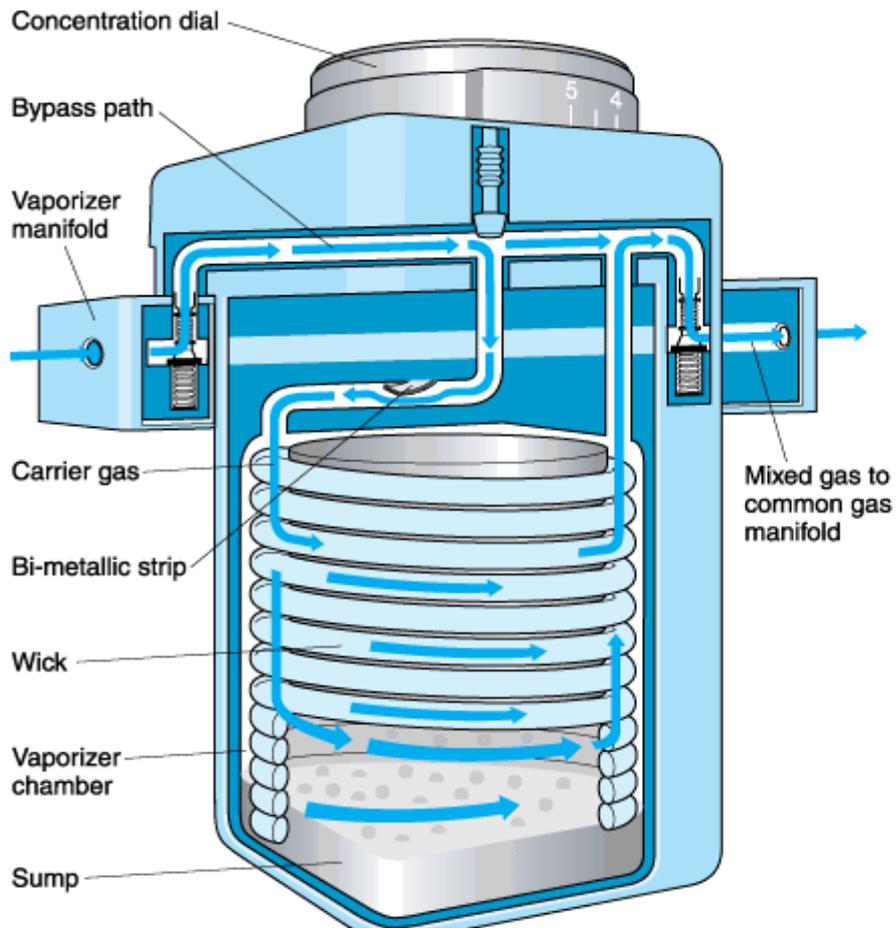
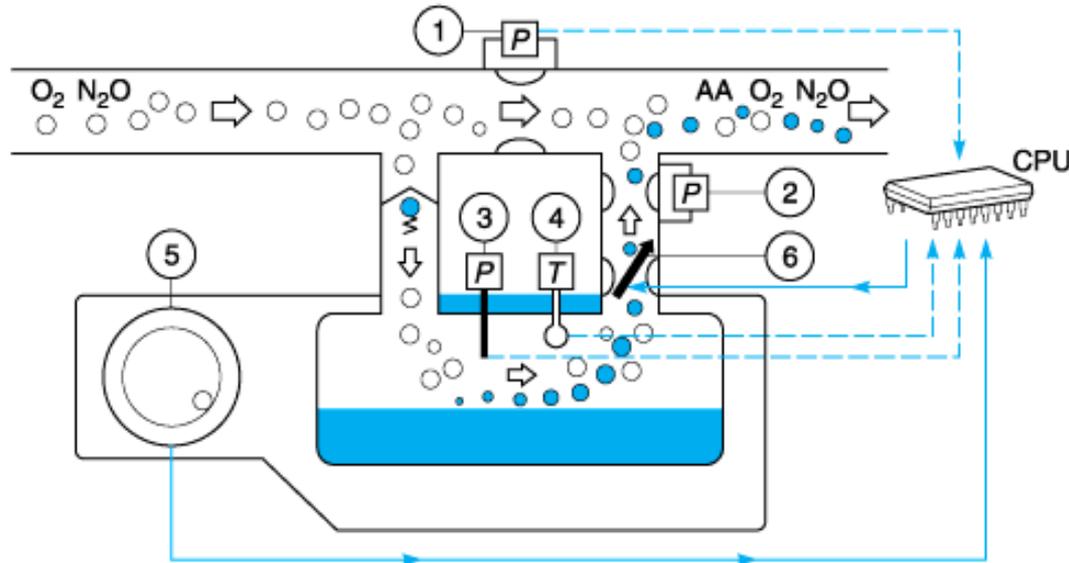


Abb. 36.11 Narkosemittelverdunster (Vapor; Roe-wer u. Thiel 2004).



Narkosegasverdampfer

- Konstante Temperatur in Verdampferkammer
- Elektronisch gesteuerte Zumischung



Measurement part

- (1) Bypass flow
- (2) Flow through the cassette
- (3) Cassette pressure
- (4) Cassette temperature

Agent control

- (5) Agent setting
- (6) Control valve

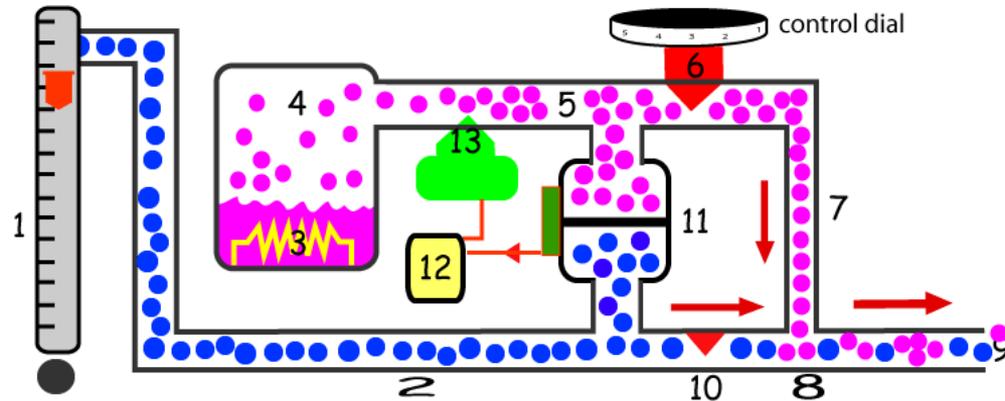
Narkosegasverdampfer

- Sonderfall: **Desfluran**
- Hoher Dampfdruck bei 20° (669 mmHg)
- Siedepunkt 22.8°
- Anästhetische Potenz 1/5 vs. Sevorange
- Extreme Verdunstungskälte – **Temperaturkontrolle**
- Exzessive Verdunstung – **Frischgasfluss**



Desfluranverdampfer

- Elektrische Heizkammer 39° - Gasdruck 2 ATM
- Kein Frischgasfluss durch den Verdampfer – Bypass
- FGF Kompensation erforderlich (11-13)



Sicherheitsaspekte

- Verdampfer nicht kippen
- DIN EN 1280 – verwechslungsfreie Überleitungen
- Kontaminationsschutz beim Befüllen
- Maximalbegrenzungen
- Farbkodierung

Narkoti- kum	Farb- codierung	maximale Begrenzung	
		alt	neu
Halothan	rot	4 %	6 %
Enfluran	orange	5 %	8 %
Isofluran	violett	5 %	8 %
Sevofluran	gelb	–	8 %
Desfluran	blau	–	18 %

Sonderfall: ACD / ANACONDA

- Anaesthetic Conserving Device
- Iso- Sevofluran über Spritze via Evaporator
- Anästhetikareflektor aus aktivierten Karbonfasern
 - Wärme- und Feuchtigkeitsaustauscher

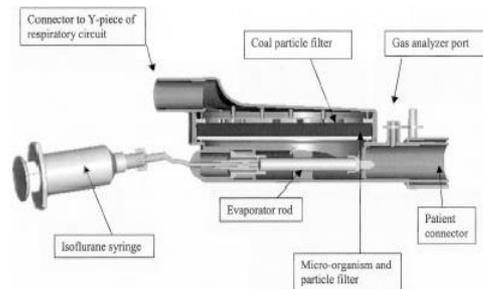
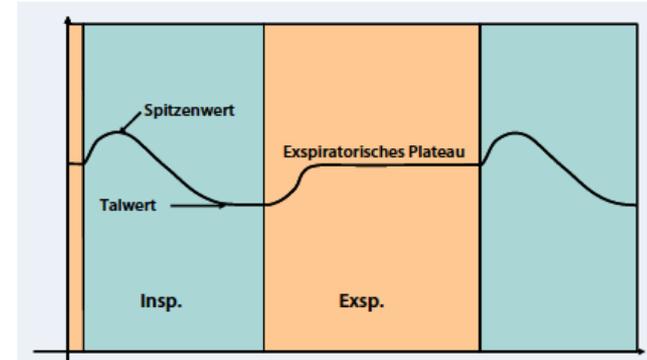


Figure 1. Cross-sectional view of the Anaesthetic Conserving Device.

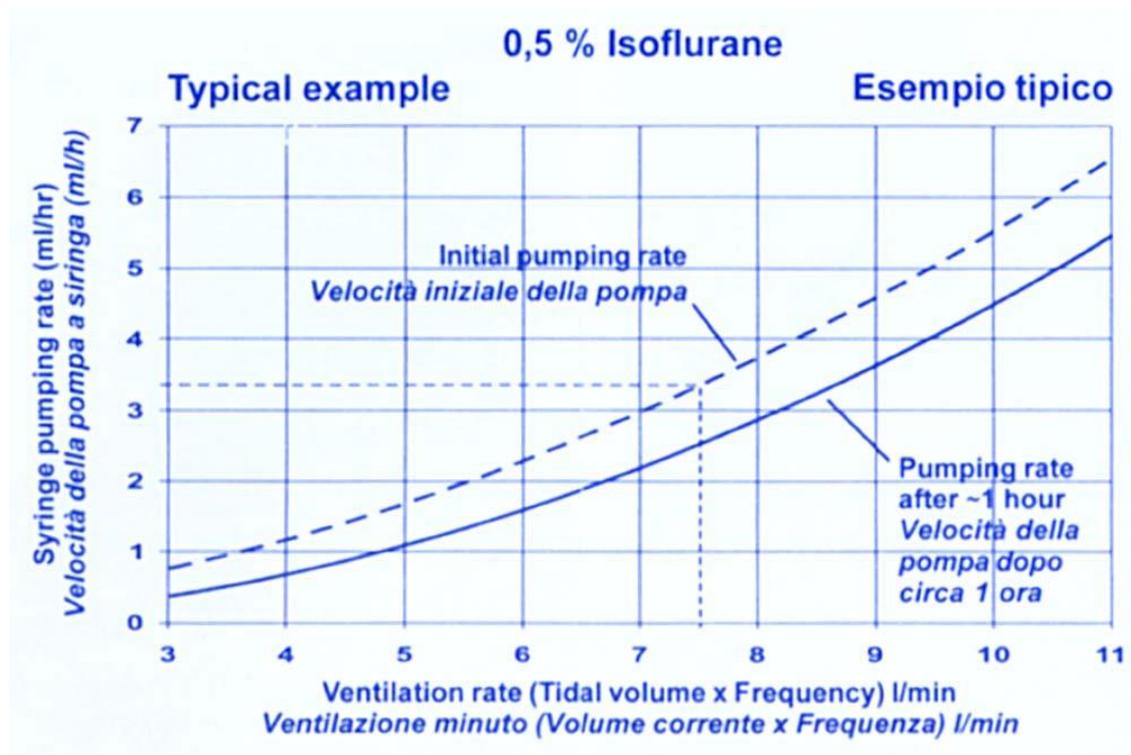
Sonderfall: ACD / ANACONDA

- 90 % des ausgeamteteten Narosegases reflektiert
- 10 % durch Reflektor – zu ersetzen
 - 1 ml flüssiges Sevorange = 200 ml dampfförmig
 - Verteilung auf 2 L Residualvolumen = 10% Konz.

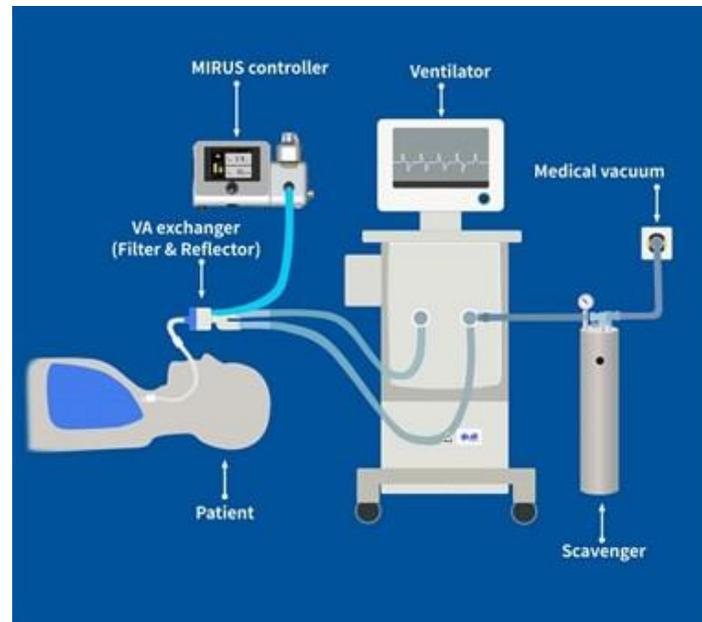


- Endtidale Konzentration evtl. falsch-hoch bestimmt!
- Inspiratorische Konzentration falsch-niedrig bestimmt!
- Nur Monitore mit Wasserfalle oder lange Nafionleitung verwenden!
- Bei jedem Patienten frische Gasprobenleitung verwenden!
- Probengas nicht rückführen!

Sonderfall: ACD / ANACONDA



Sonderfall: MIRUS



CO₂ Absorber

- Atemkalk – Mischungen

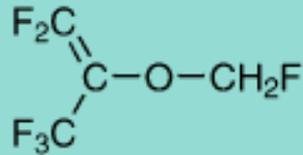
Präparat	H ₂ O (%)	Ca (OH) ₂ (%)	NaOH (%)	KOH (%)	Ba(OH) ₂ (%)
Drägersorb 800	15,6	80,1	2,1	2,2	–
Sodasorb	13,4	82,5	1,5	2,6	–
Baralyme	12,6	75,1	0,9	4,0	7,4
Spherasorb	13,6	82,2	4,2	–	–
Soda Lime	17,3	79,9	2,8	–	–
Amsorb*	14,4	83,2	–	–	–



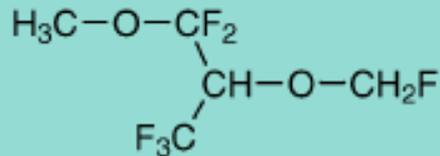
- $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$
- $\text{H}_2\text{CO}_3 + 2 \text{NaOH} = \text{Na}_2\text{CO}_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Ca(OH)}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{CaCO}_3 + 2\text{NaOH}$
- 100 g Absorber binden 10-15 L CO₂

Compound A

- Degradation von Sevofluran im CO₂ Absorber



Compound A:
Fluoromethyl-2,2-difluoro-
1-(trifluoromethyl)vinyläther
K-, Na-, Bariumhydroxid im Kalk



Compound B:
Fluoromethyl-2-methoxy-2,2-difluoro-
1-(trifluoromethyl)äthyläther
Nur in wasserarmen Atemkalk

- Nephrotoxisch (?), Formaldehyd- Ethanolbildung

En-, Iso-, Desfluran: CO Bildung

- Anästhetika mit CHF₂ Gruppe
- Kontakt mit trockenem Atemkalk
- Normaler Wassergehalt 14-18%
- Risiko für Desfluran am höchsten

- Regelmäßiger Wechsel des Atemkalks
- Alternative Absorber:
 - Amsorb
 - Lithiumhydroxid

Neue CO₂ Absorbertechnologie

Journal of Natural Gas Science and Engineering 101 (2022) 104538



ELSEVIER

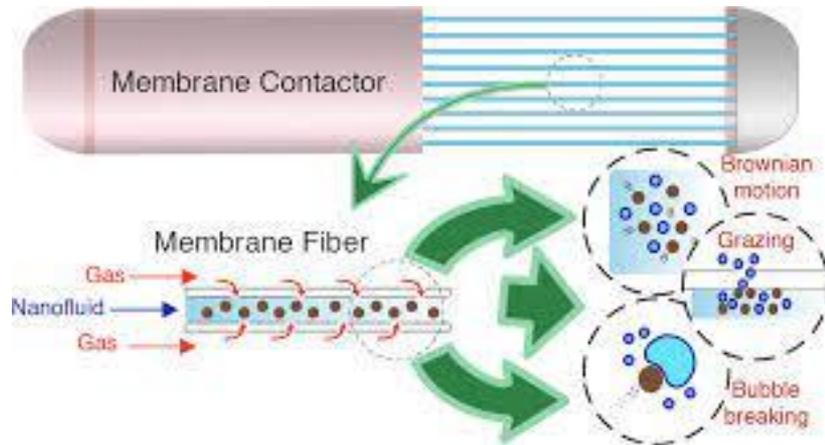
Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Journal of Natural Gas Science and Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jngse

Sono-hollow fiber membrane contactors: A new approach for CO₂ separation by physical/chemical absorbents

Neue CO₂ Absorbertechnologie



Nanopartikel

Fe₃O₄@SiO₂-NH₂

DEAB (4-diethylamino-2-butanol)

+ / - Ultrasonic irradiation

Brownian motion & Grazing effect

Polypropylen hollow fiber
membrane contactor



Green Anaesthesia

Green Anaesthesia

Tabelle 1

Global Warming Potentials und atmosphärische Lebensdauern von inhalativen Anästhetika (nach Sulbaek Anderson et al. 2012 [17]).

	GWP100	GWP20	atmosphärische Lebensdauer (in Jahren)
CO₂	1	1	30–95 (23)
N₂O	298	289	114
Sevofluran	130	440	1,1
Desfluran	2540	6810	14
Isofluran	510	1800	3,2
Halothan	50	190	1,0
Enfluran	680	2370	4,3

Green Anaesthesia

Tabelle 2

Emissionen durch 6h inhalative Allgemeinästhesie im Steady-State umgerechnet in zurückgelegten Autokilometer (nach Sherman und Feldman 2017 [24]).

	Minimal-Flow- Anästhesie 0,5 l/min	Low-Flow- Anästhesie 1 l/min	High-Flow- Anästhesie 2 l/min	High-Flow- Anästhesie 5 l/min
Sevofluran 2,2%	19,3 km	38,6 km	77,2 km	183,5 km
Desfluran 6,7%	898,0 km	1825,0 km	3650,0 km	9067,0 km
Isofluran 1,2%	38,6 km	67,6 km	144,8 km	366,9 km
Lachgas (N₂O) 60%	280,0 km	550,4 km	1081,5 km	2723,0 km

Green Anaesthesia

Special Articles

Positionspapier mit konkreten Handlungsempfehlungen* der DGAI und des BDA:

Ökologische Nachhaltigkeit in der Anästhesiologie und Intensivmedizin



Figure 2. Schematic view of the three different perspectives in choosing an anesthesia technique. Abbreviations: N₂O: Nitrous oxide; TIVA: Total intravenous anesthesia; WAG: Waste anesthetic gas.

Green Anaesthesia

Anaesthesia 2018, 73, 59-64

doi:10.1111/anae.14100

Original Article

Evaluation of a novel waste anaesthetic gas scavenger device for use during recovery from anaesthesia

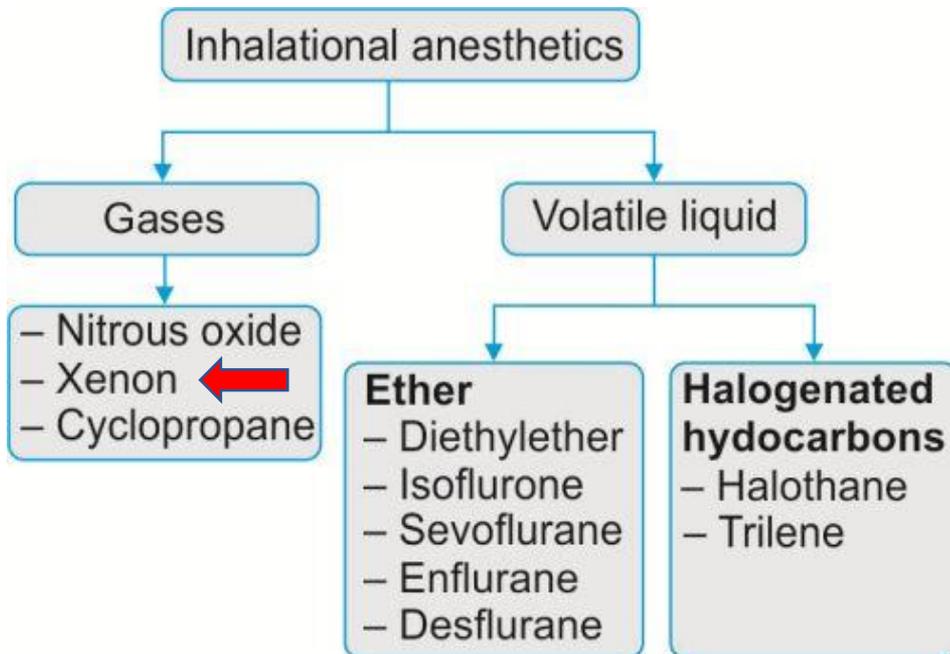


Table 1 Twenty-minute levels (ppm) of sevoflurane and desflurane, in the patient breathing zone (PBZ) and nurse work zone (NWZ), in control and study groups. Values are mean (SD).

Zone	Anaesthetic agent	Control group	Study group	p
PBZ	Sevoflurane	3.52 (2.26)	0.41 (0.22)	< 0.001
	Desflurane	9.06 (5.97)	0.74 (0.41)	< 0.001
NWZ	Sevoflurane	1.12 (1.11)	0.26 (0.13)	< 0.001
	Desflurane	1.96 (1.24)	0.39 (0.17)	< 0.001



Xenonanästhesie



Xenonanästhesie

Anforderungen an Narkosegeräte Für Xenonanästhesien sind spezielle Narkosegeräte erforderlich, die über Folgendes verfügen müssen:

- ▶ ein möglichst geringes Systemvolumen,
- ▶ ein spezifisches Flowmeter und
- ▶ ein Infrarotspektrometer zur Überwachung der Xenonkonzentration (▶ Abb. 4).
- ▶ Wegen der hohen Viskosität des Gases ist außerdem ein spezieller Blower erforderlich.

Xenonanästhesie

Betriebsarten des Atemsystems

Pneumatisch komplett geschlossen (nur für Xenon/O₂)

Halb geschlossen

Halb offen

Handbeatmung/Spontanatmung

FG out (zusätzlicher Frischgasausgang)

Standby

Xenonanästhesie

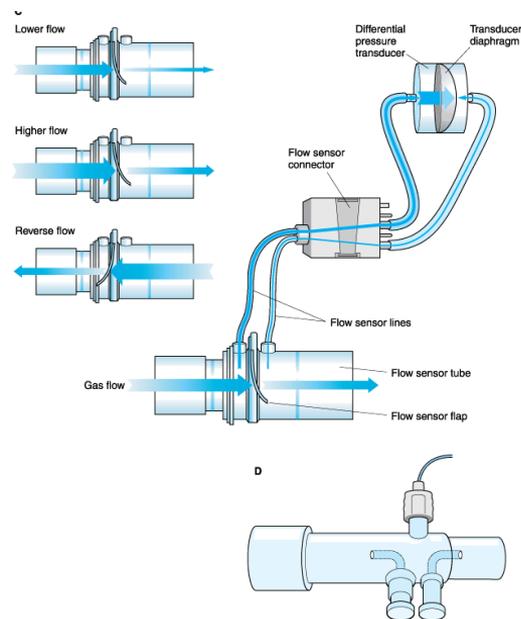
- Xenon MAC Wert 63 - 71% (Gender different)
- Blut / Gas Verteilungskoeffizient 0,115 vgl Sevoran 0,69
- Extrem schnell An- und Abflutung
- 50-65% kürzere Aufwachzeiten
- Keine Option der Aufbereitung

Messen und Monitieren

- **Sauerstoffmessung**
- Galvanische Zelle (Spannung \approx O_2 in Zelle)
 - Elektrode in Elektrolygel – O_2 permeable Membran
- Paramagnetisch
 - Messkammer – Referenzgas vs. Gasmischung
 - Gepulstes elektromagnetisches Feld
 - Druckdifferenz in den Kapillaren \approx SO_2
 - Verschleißfrei

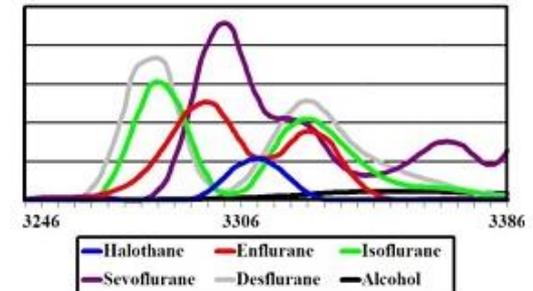
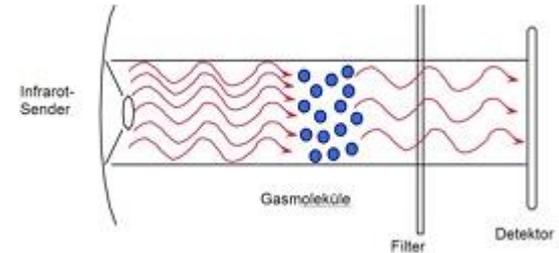
Messen und Monitieren

- Spirometrie
- Pneumotachograph
 - Strömungswiderstand
 - Druckabfall
 - Bi-direktional
- Hitzdraht Anemometer
- Drallkörper



Messen und Monitieren

- **Kapnographie**
- Infrarot Absorptionsspektrometrie
 - Asymetrische Moleküle CO_2 - N_2O –
 - 426 nm für CO_2
 - Typisches Spektralmuster



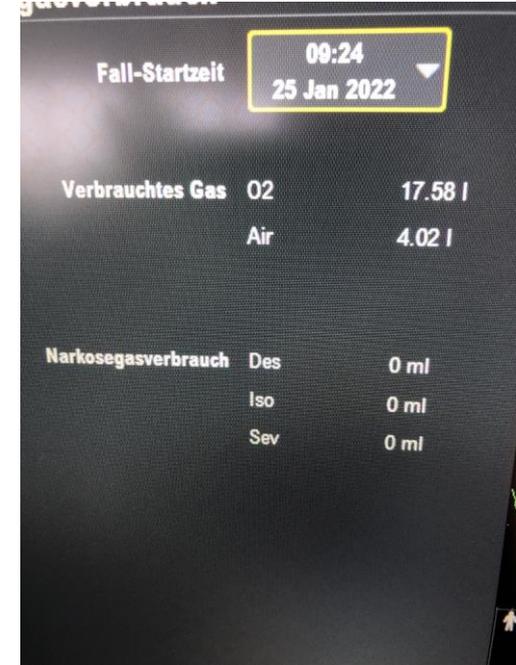
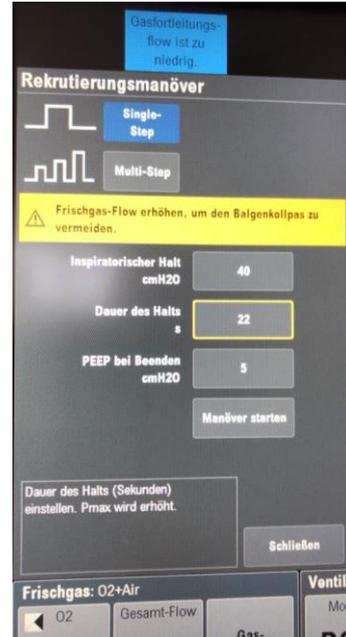
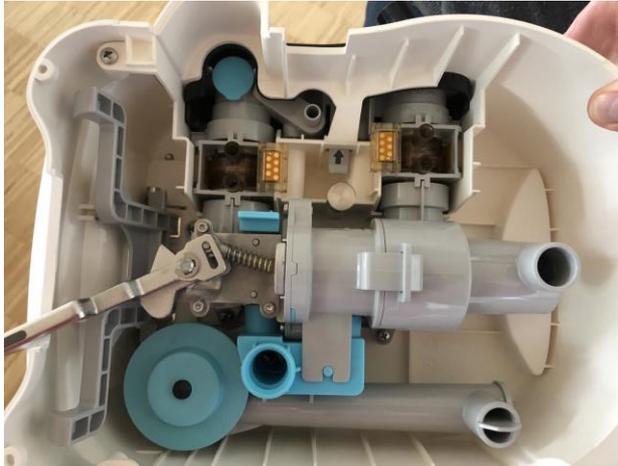
Messen und Monitieren

- Volatile Anästhetika
 - Sensorkammer
 - 2 piezoelektrische Kristalle
 - Unterschiedliche Oszillation bei Anästhetikaabsorption



Moderne Narkosesysteme

Modularer Aufbau – komplexe Technik



Differenzierte Beatmungsoptionen



Sicherheitsaspekte

- Vital bedrohliche Komplikationen im Zusammenhang mit Anästhesiesystemen
 - 25% technische Probleme
 - 75% Anwenderfehler
 - Mangelhaftes Verständnis
 - Mangelhafte Schulung
 - Kein Geräte Check



Verpflichtender Gerätecheck

Lachgas statt Sauerstoff verabreicht

Einem 41-jährigen OP-Gehilfen aus dem Oberland war im Oktober 2005 im Ärztehaus Telfs während einer Narkose für eine Bandscheibenoperation Lachgas anstatt Sauerstoff verabreicht worden.

Ärztin ignorierte Warntöne

Die Narkoseärztin hätte am Morgen das Funktionieren des Narkosegerätes jedenfalls überprüfen müssen, so ein Gutachter.

Alarmer Wert

Die Ärztin habe sich lediglich auf Aussagen anderer Ärzte verlassen und die schrillen Warntöne abgeschaltet. Die Anzeige, wonach der Patient nur noch ein Prozent Sauerstoff, aber 99 Prozent Lachgas erhielt, wertete die Ärztin als fehlerhaft.

„Rescue Strategien“

Umso mehr hätte sie dann den bereits blau angelaufenen Patienten vom Narkosegerät abschließen und mit einer händischen Beatmung eingreifen müssen, sagte der Gutachter.

Hätte die Ärztin das gemacht, könnte der 41-Jährige noch leben.

Konsequenzen

■ FAHRLÄSSIGE TÖTUNG

27.03.2007

Schuldsprüche nach tödlicher Operation

Mit bedingten Freiheitsstrafen von jeweils neun Monaten hat am Innsbrucker Landesgericht der Prozess gegen die ehemalige Narkoseärztin und den Salzburger Techniker des geendet. Die Urteile sind nicht rechtskräftig.

Pre - Anesthesia Checkout

Funktionsprüfung des Narkosegerätes am Anästhesiearbeitsplatz nach Checkliste (Gerätecheck A)

Vorbereitung zum Gerätecheck:

- Sichtprüfung auf ordnungsgemäßen Zustand des Gerätes: korrekter und vollständiger Aufbau, hygienische Sauberkeit, keine erkennbaren äußeren Schäden, Verwendung von geeignetem Zubehör, Prüfsiegel regelmäßiger technischer Kontrollen.
- Überprüfung auf Vorhandensein und Funktionsprüfung eines separaten Handbeatmungsbeutels
- Anschluss an die Stromversorgung
- Anschluss an die Gasversorgung
- Anschluss an die Anästhesiegasfortleitung
- Ggf. Überprüfung der Reservedruckgasbehälter
- Überprüfung des korrekten Anschlusses der Probengasleitung
- Einschalten von Narkosegerät (ggfls. aller Einzelmodule) und Monitorsystemen
- Überprüfung der Funktion des O₂-Flushs
- Überprüfung des/der Verdampfer(s) (Füllzustand, korrekter Sitz, Nullstellung, ggfls. elektrischer Anschluss)
- Überprüfung des CO₂-Absorbers (Befülldatum, Farbveränderungen)

Durchführung des automatischen Gerätechecks mit korrekter Befolgung der geforderten manuellen Prüfschritte:

- Start der Selbsttests von Narkose- und Überwachungsgeräten, nach deren Abschluss: Überprüfung der Testergebnisse

Pre - Anesthesia Checkout

Funktionsprüfung des Narkosegerätes am Anästhesiearbeitsplatz vor/bei Patientenwechsel im laufenden Betrieb (Gerätecheck W)

Der Gerätecheck W ist zwischen aufeinander folgenden Narkosen durchzuführen, eine Dokumentation nicht erforderlich.

- Sichtprüfung auf ordnungsgemäßen Zustand des Gerätes
- Sichtprüfung des/der Verdampfer(s) (3)
- Sichtprüfung des CO₂-Absorbers
- Ggfls. Wasserkondensat aus Atemschläuchen und Wasserfallen entleeren.
- Überprüfung, ggfls. Leerung und Säuberung der Sekretabsaugung (Zustand, Funktion)

Teil der Funktionsprüfung, die bei/vor Anschluss eines jeden Patienten an ein Narkosegerät genuine Aufgabe des Anästhesisten ist:

- Überprüfung der Gasdosiereinrichtung
- Überprüfung des korrekten Anschlusses der Schläuche des Atemsystems und der Handbeatmung
- Überprüfung der Dichtigkeit des Atemsystems
- Überprüfung der Funktion von Ein- und Ausatemventil und der Handbeatmung
- Überprüfung der Funktion des Druckbegrenzungs (APL) -Ventiles
- Funktionsprüfung des Ventilatormoduls
- Überprüfung der Einstellung des Ventilatormoduls

