

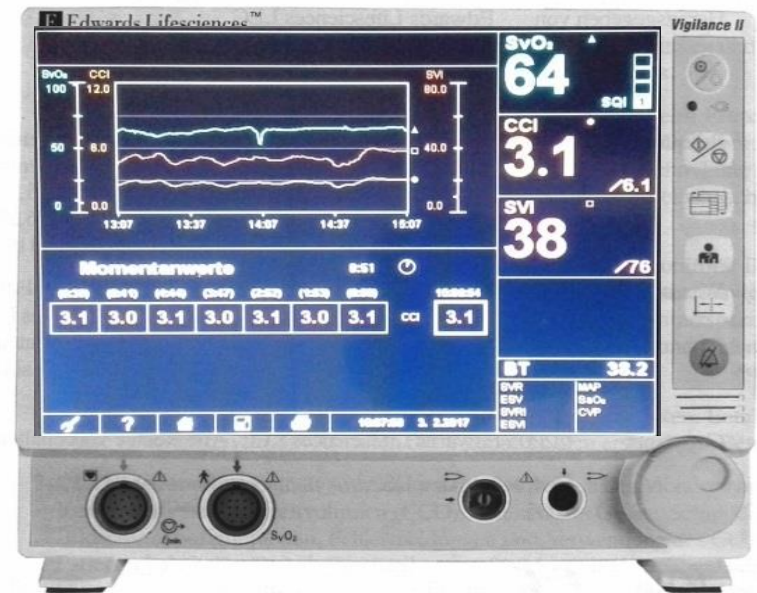
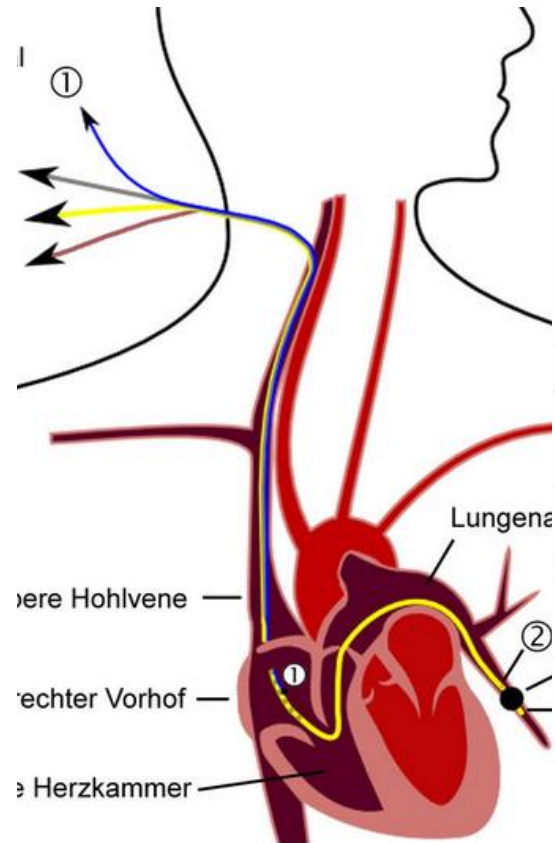
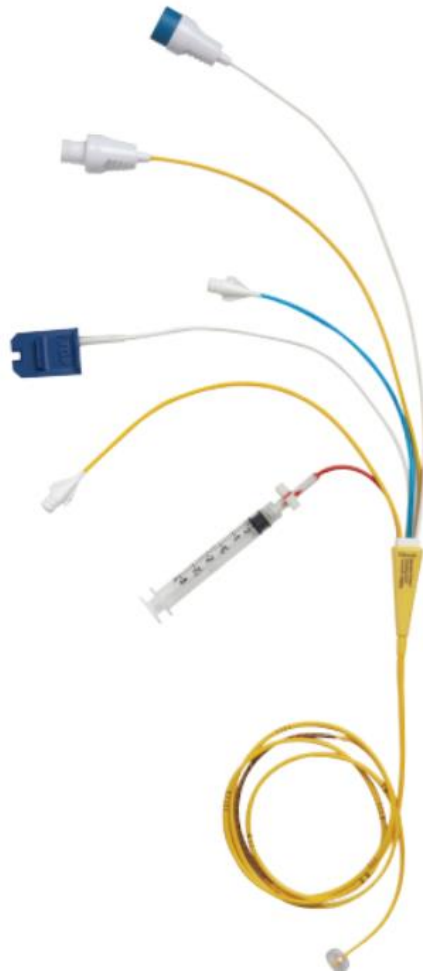
Transpulmonale Thermodilution & kontinuierliche HZV-Messung PiCCO® & Volumeview®

Meppener intensivmedizinisches
Kolloquium

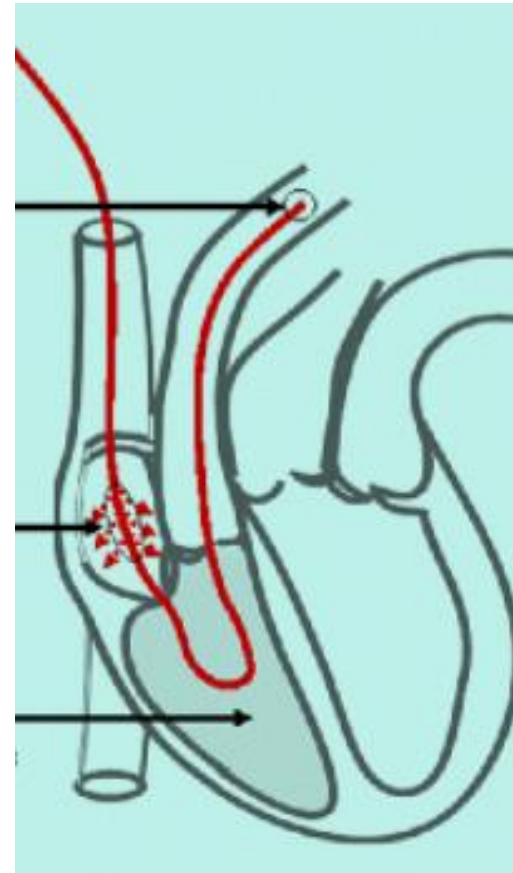
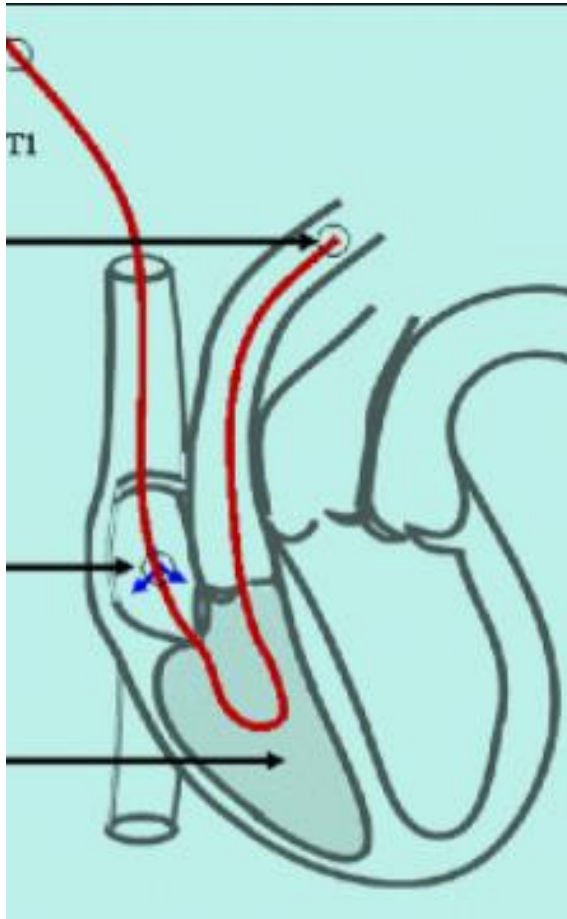
22.4.2021

Referent: T. Berlet

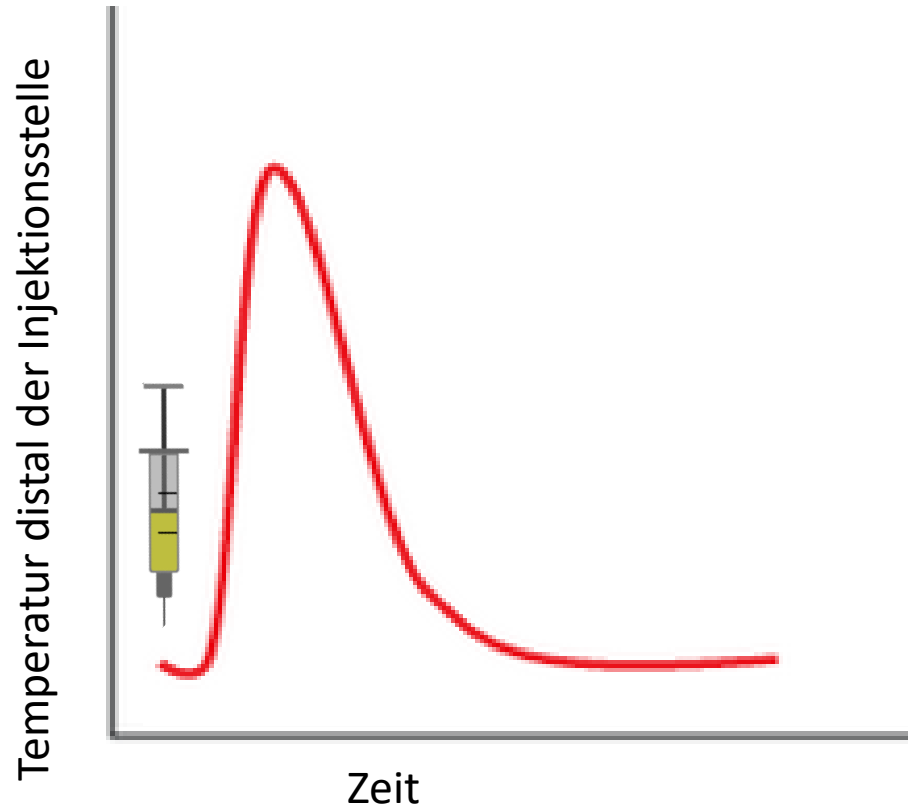
Der „Klassiker“: Rechtsherzkatheter mit Thermodilution



„Traditionelle“ Thermodilution



Messprinzip der Thermodilution: Stewart-Hamilton Gleichung



$$\text{CO} = \frac{(T_b - T_i) \times V_i \times K}{\int_0^{\infty} \Delta T_b dt}$$

Cardiac output

Blood temp

Injectate temp

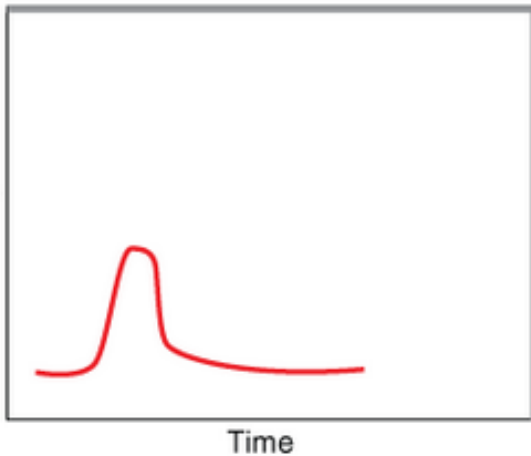
Injectate volume

Computation constant

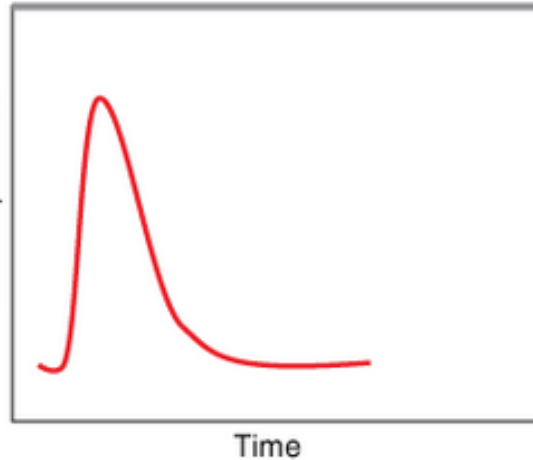
Areas under the curve

Fläche unter der Thermodilutionskurve korreliert invers mit HZV

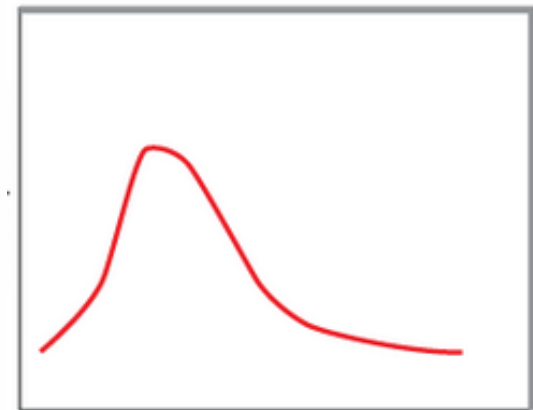
B High cardiac output



A Normal thermodilution curve



C Low cardiac output

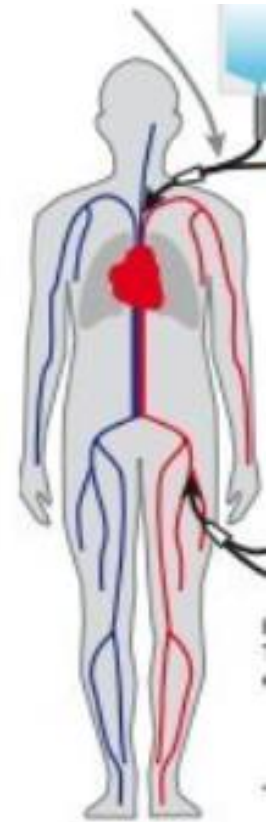
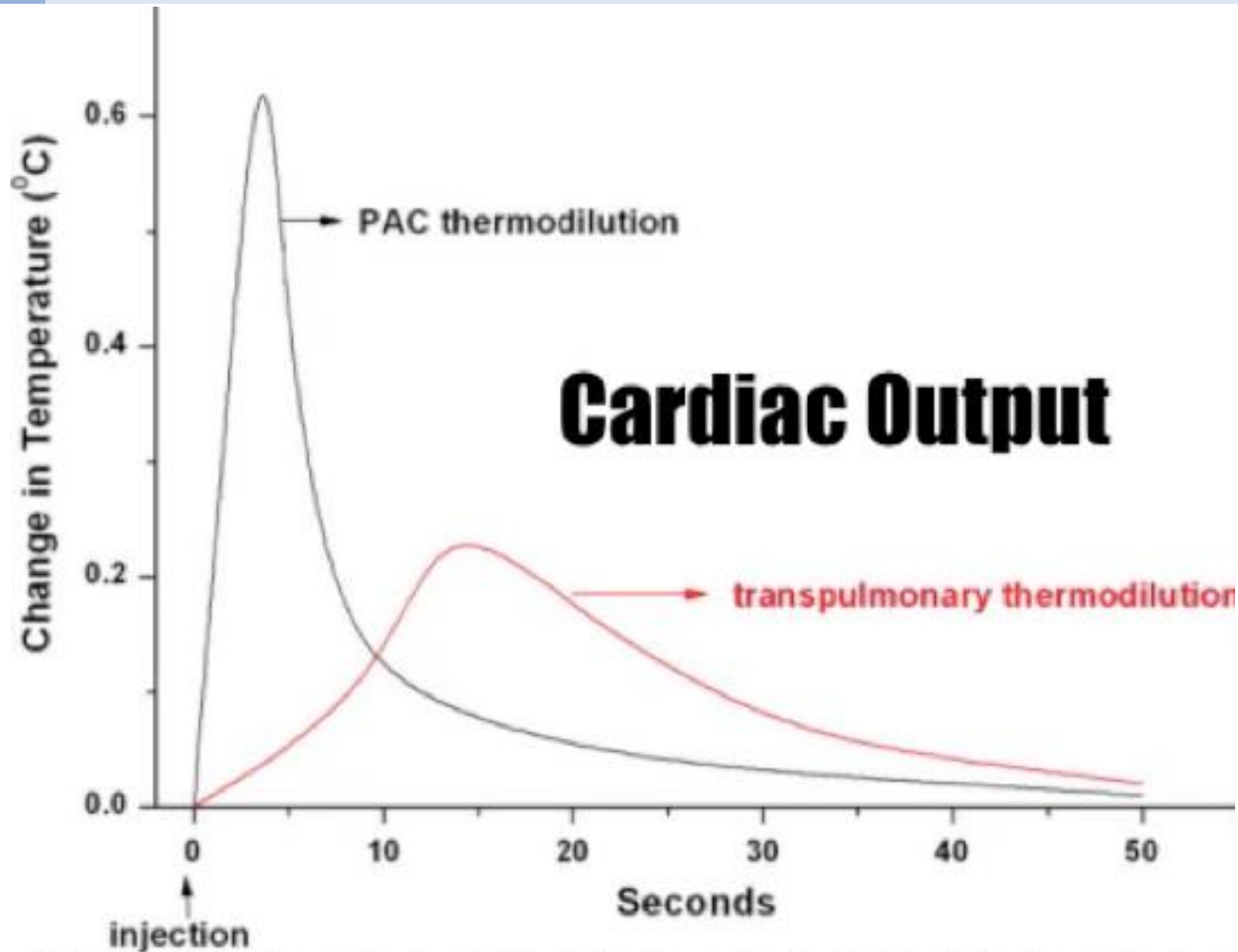


$$CO = \frac{(T_b - T_i) \times V_i \times K}{\underbrace{\int_0^{\infty} \Delta T_b dt}_{\text{Areas under the curve}}}$$

Labels in the diagram:
- CO : Cardiac output
- T_b : Blood temp
- T_i : Injectate temp
- V_i : Injectate volume
- K : Computation constant

Je größer der Nenner (Fläche unter der Thermodilutionskurve), desto kleiner ist das HZV

Vom Rechtsherzkatheter zur transpulmonalen Thermodilution



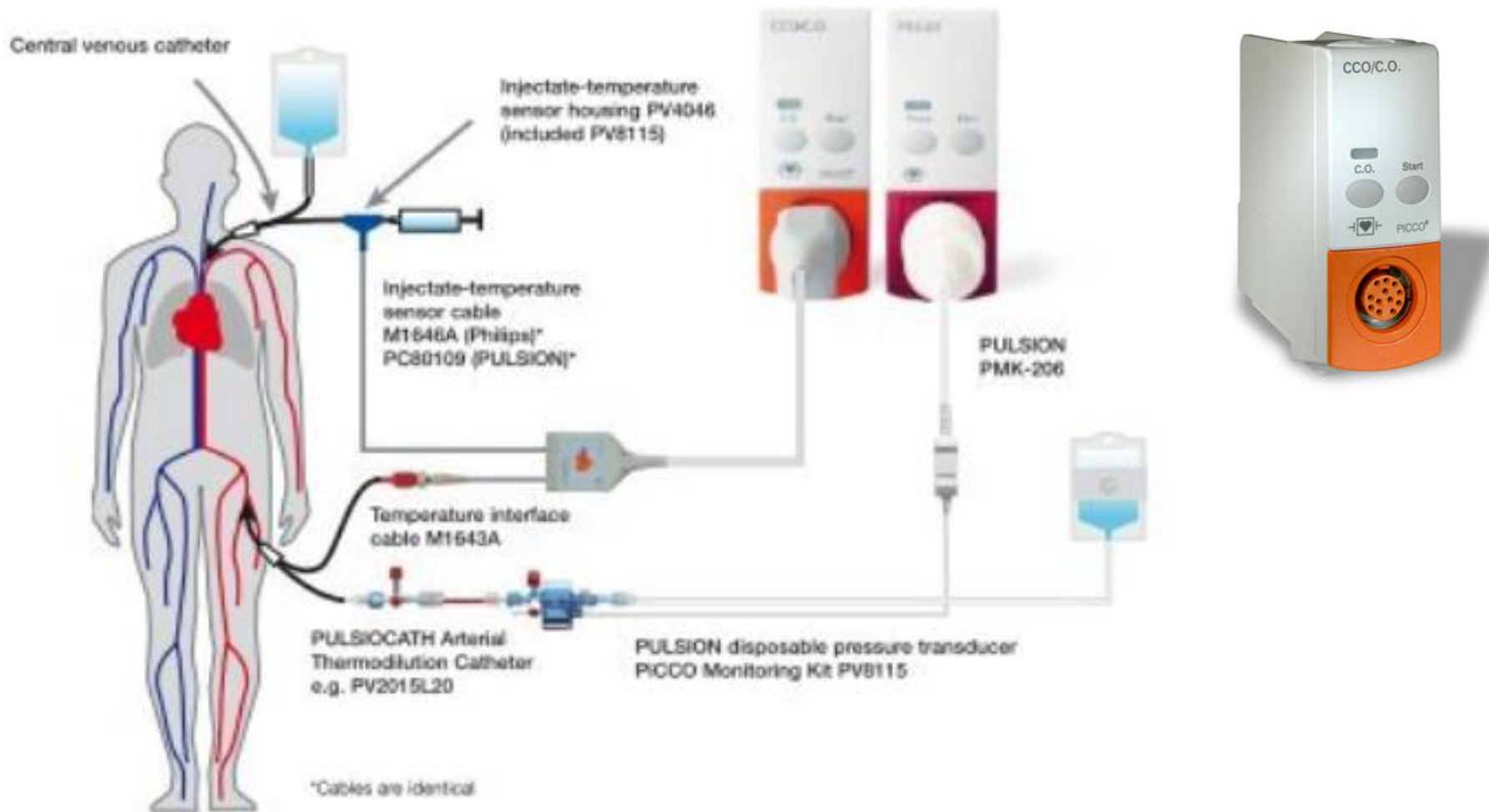
PULSION PiCCO: das Original



PiCCO

- Transpulmonale Thermodilution
- Kontinuierliche HZV-Messung mittels Pulskonturanalyse
- Zahlreiche abgeleitete Parameter
 - Kardiale Vorlast & Nachlast
 - Linksventrikuläre Kontraktilität
 - Extravaskuläres Lungenwasser

Philips(Pulsion) PiCCO



Edwards VolumeView

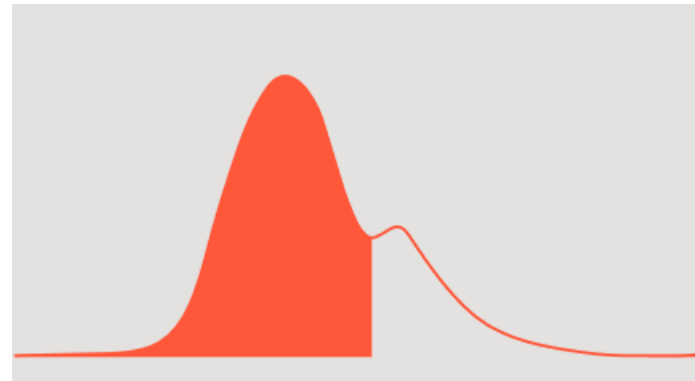
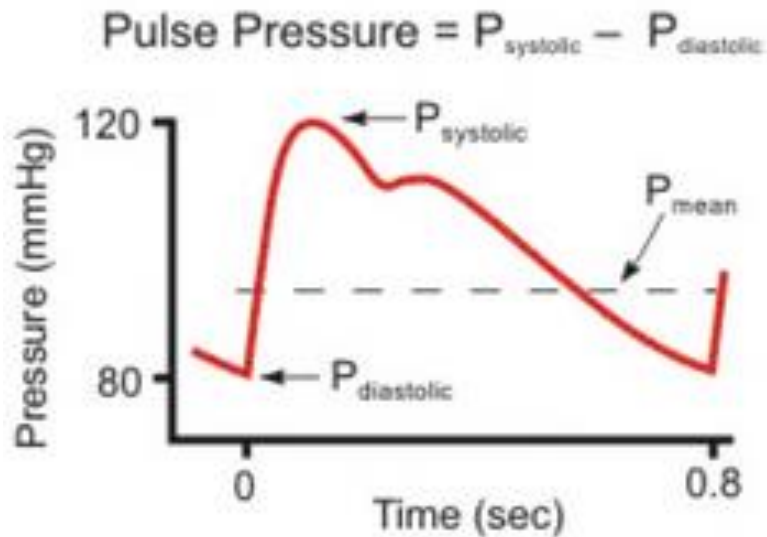


Ablauf der PiCCO-Messung

- ZVK & „PiCCO“-taugliche arterielle Kanüle
 - Femoralarterie: 5 F
 - Brachialarterie: 4 F
- Thermodilutionsmessung
 - Injektat (Temperatur mind 12°C unter Patiententemp)
 - Injektatvolumen (Erwachsene) 10-20 ml
 - Invasive HZV-Messung & abgeleitete Werte (GEDI, EVLW etc.)
- Pulskonturanalyse (durch iHZV kalibriert)
 - kHZV, SV, SVV, PPV, SVR etc.

Prinzip der kontinuierlichen HZV-Messung

AUC der „Pulse-Pressure“-Kurve korreliert mit dem linksventrikulären Schlagvolumen



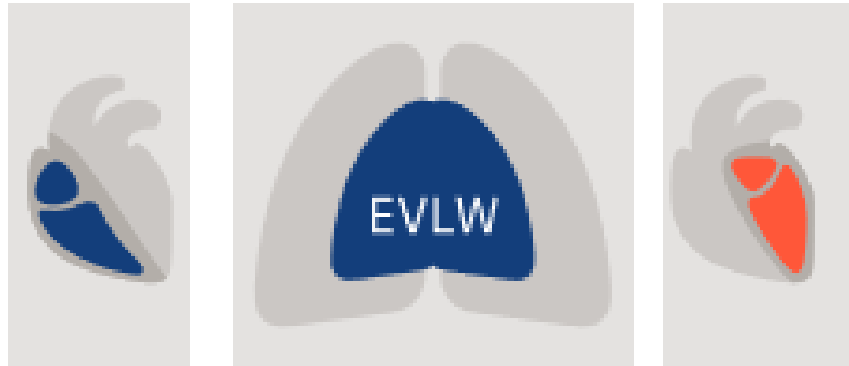
$$\text{PCCO} = \underset{\substack{\text{Patient-specific calibration factor} \\ \text{(determined with thermodilution)}}}{\text{cal}} \times \underset{\substack{\text{Heart rate}}}{\text{HR}} \times \int_{\text{systole}} \left(\underset{\substack{\text{Area under the} \\ \text{pressure curve}}}{\frac{P(t)}{\text{SVR}}} + \underset{\substack{\text{Shape of} \\ \text{pressure curve}}}{\text{C}(p)} \times \frac{dP}{dt} \right) dt$$

Compliance

PiCCO-Parameter

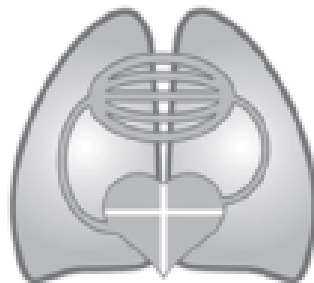
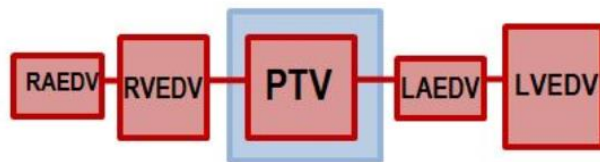
Abkürzung	Parameter	Erläuterung
HZV/HI	Herzzeitvolumen	Thermodilution (gemessen)
kHZV	Kontinuierlich gemessenes HVZ	Pulskonturanalyse
SV/SI	Schlagvolumen (-index)	Thermodilution & Pulskonturanalyse
SVV	Schlagvolumenvariation	Pulskonturanalyse (gemessen)
PPV	Pulsdruck-Variation	Pulskonturanalyse (gemessen)
GEDV/GEDVI	Globales enddiastolisches Volumen	Thermodilution (abgeleitet)
GEF	Globale Ejektionsfraktion	Thermodilution (abgeleitet)
EVLW/EVLWI	Extravasales Lungenwasser	Thermodilution (abgeleitet)
ITBV/ITBVI	Intrathorakales Blutvolumen	Thermodilution (abgeleitet)
SVR/SVRI	Systemischer Gefäßwiderstand	Thermodilution & Pulskonturanalyse (abgeleitet)
CFI	Kardialer Funktionsindex	Thermodilution (abgeleitet)
dPmx	Linksventrikulärer Kontraktilitätsindex	Thermodilution (gemessen)

Klinische relevante „abgeleitete“ Thermodilutionsparameter: GEDV & EVLW

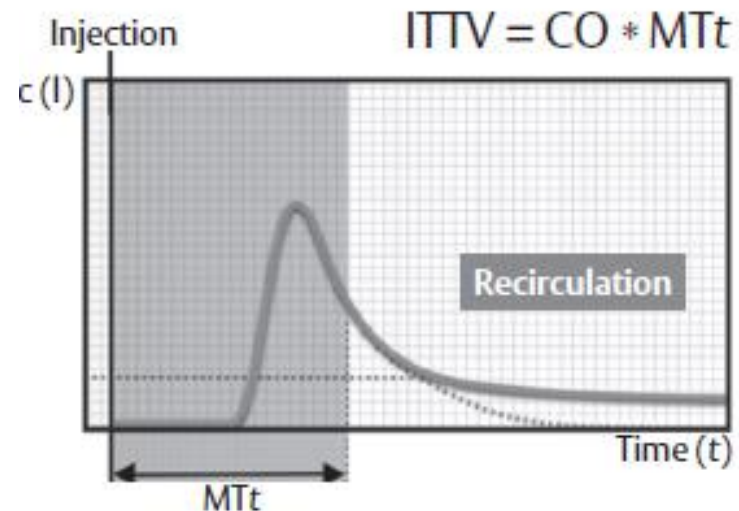


Werden aus dem zeitlichen Verlauf der Thermodilutionskurve errechnet
„Thermische“ Volumina entsprechen (ungefähr) Blutvolumina

1. Schritt: Intrathorakales thermisches Volumen (ITTV)

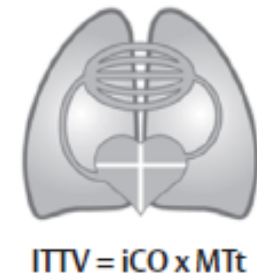
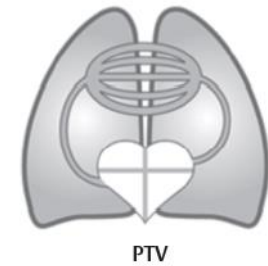
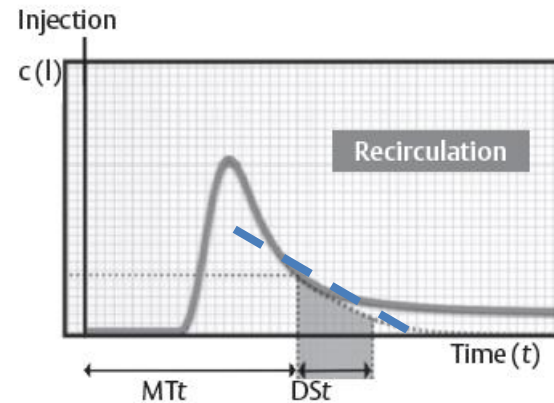
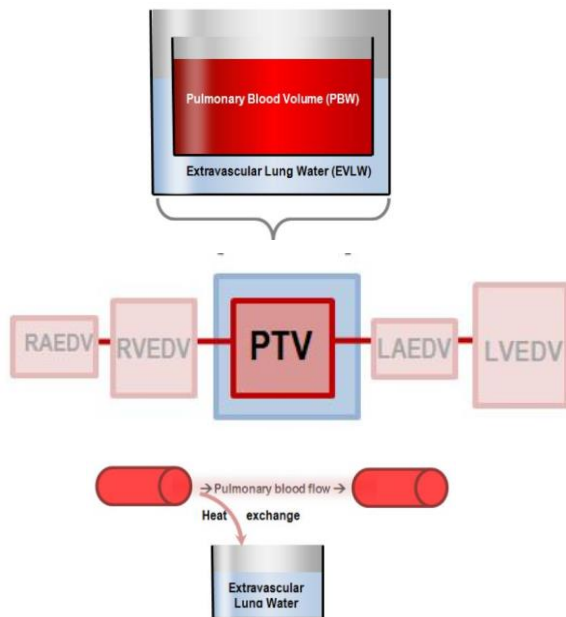


$$ITTV = iCO \times MTt$$



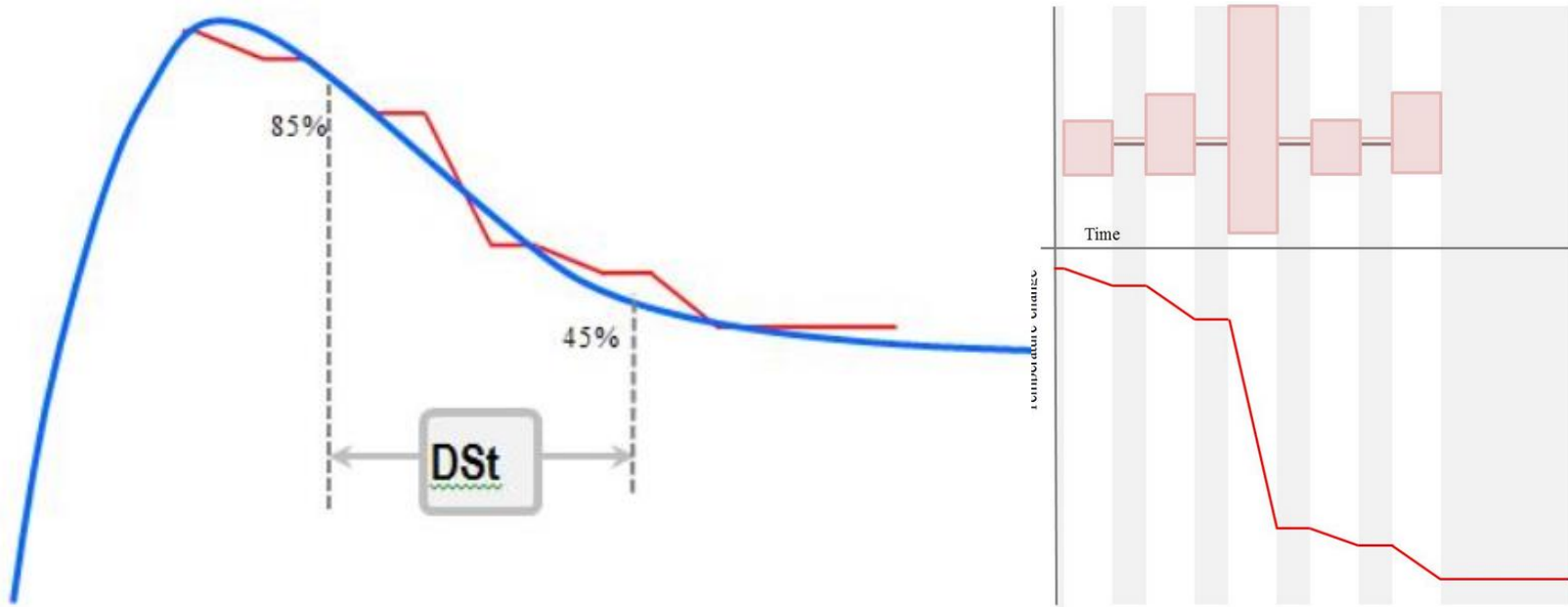
- Methode: HZV (=CO) wird mittels Thermodilution bestimmt
- Die mittlere Transitzeit (MTt) ist das Zeitintervall, innerhalb dessen 50% des Indikators (Kältebolus) am Messort vorbeiströmen.
- ITTV repräsentiert die Summe der intrathorakalen „Thermodilutionskompartimente“:
- Herz, Lungen und Gefäßbett

Pulmonales thermales Volumen



- Methode: Die „Down Slope Time“ (DSt) der logarithmierten Thermodilutionskurve repräsentiert das größte Kompartiment aller ITTV-Kompartimente: pulmonales thermales Volumen (PTV).
- PTV ist die Summe aus pulmonalem Blutvolumen und extravaskulärem Lungenwasser

Prinzip der PTV-Bestimmung



DSt: Zeitintervall von 85%-45% der Temperaturveränderung

Globales enddiastolisches Volumen



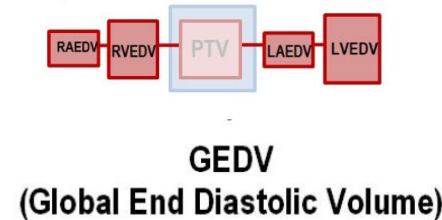
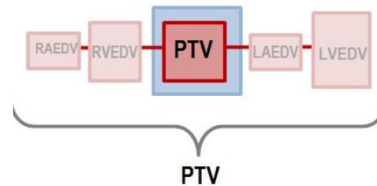
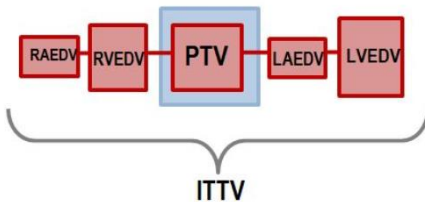
$ITTV = iCO \times MTt$



PTV
 $PTV = CO \times Dst$

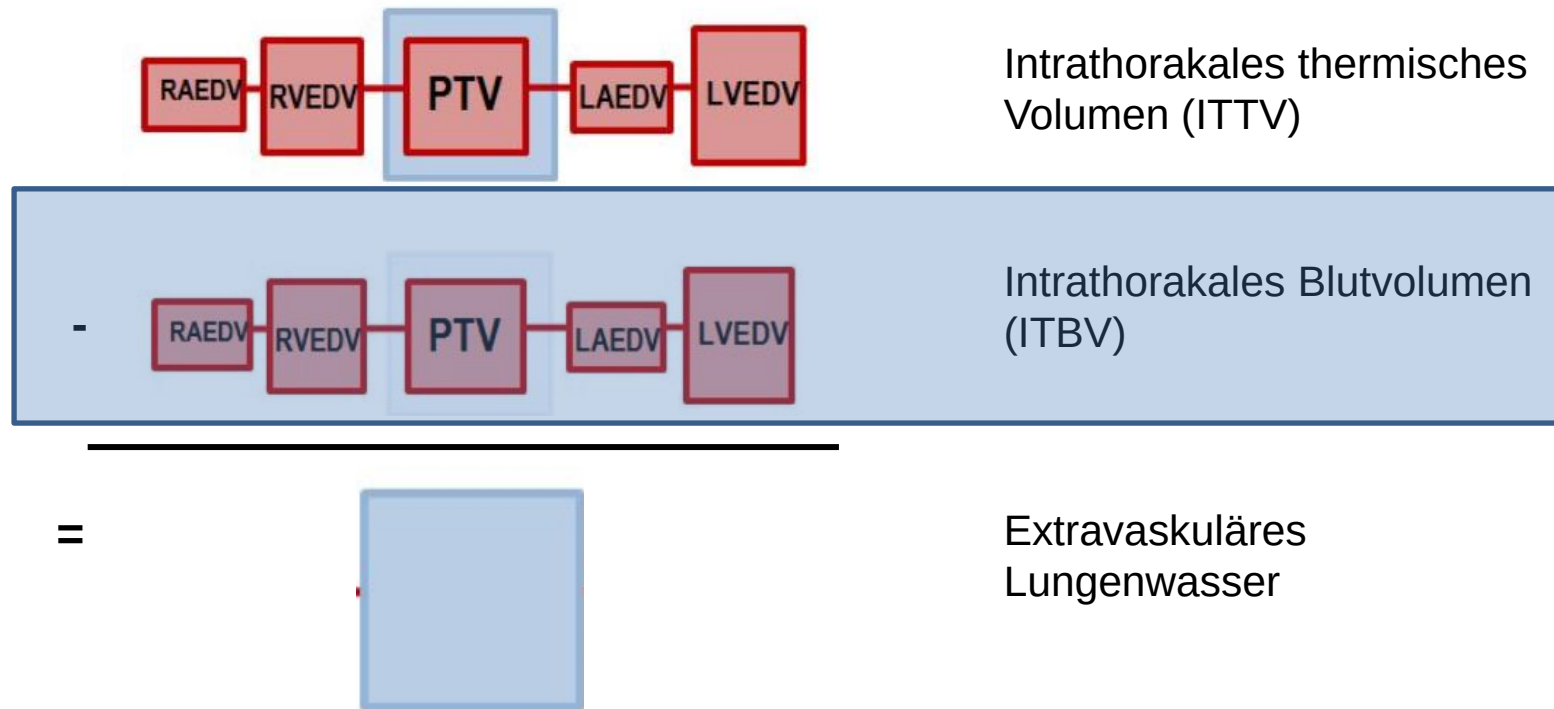


GEDV 680 – 800 mL/m²

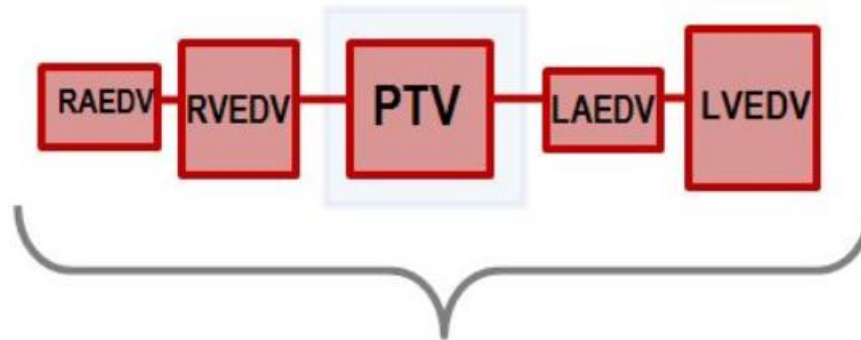


Leider: in der Praxis ist das GEDV kein „besserer“ Vorlastparameter als ZVD oder PAWP

Der Weg zum extravaskulären Lungenwasser



Intrathorakales Blutvolumen = errechnete Größe



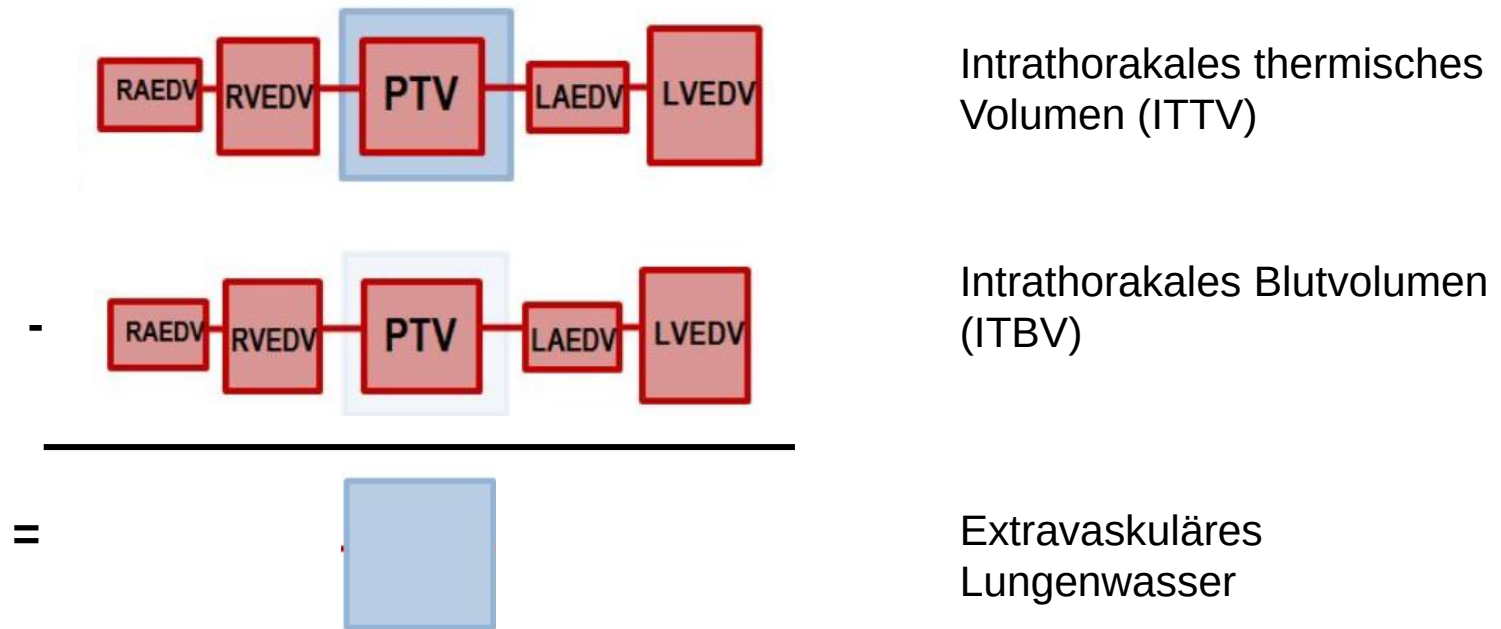
ITBV

$$\text{ITBV} = 1.25 \times \text{GEDV}$$

=

$$\text{ITBV} = 1.25 \times \text{CO} \times (\text{MTt} - \text{DSt})$$

Der Weg zum extravaskulären Lungenwasser



Indexierte Werte:

EVLWI: Normalwert 3-7 ml/kg

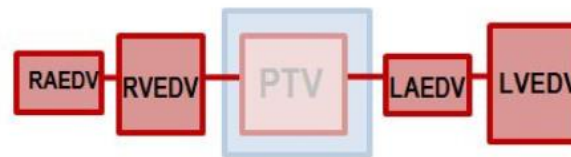
EVLWI > 10 ml/kg : Hinweis auf Lungenödem

EVLWI bis 30 ml/kg bei schwerem Lungenödem

Globale Ejektionsfraktion

(Schlagvolumen x 4)

(GEDV = Globales enddiastolisches Volumen)

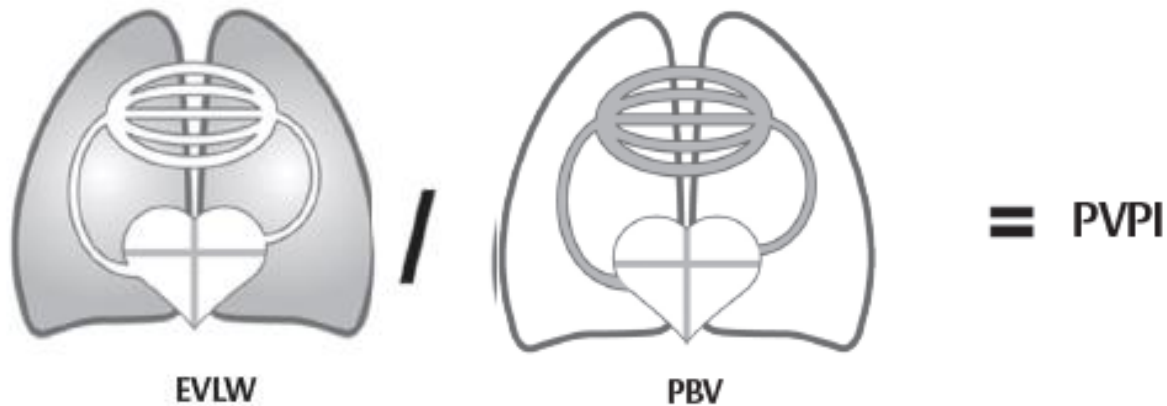


Normalwert: 25-35%

Zusammenfassung der Thermodilutionsparameter

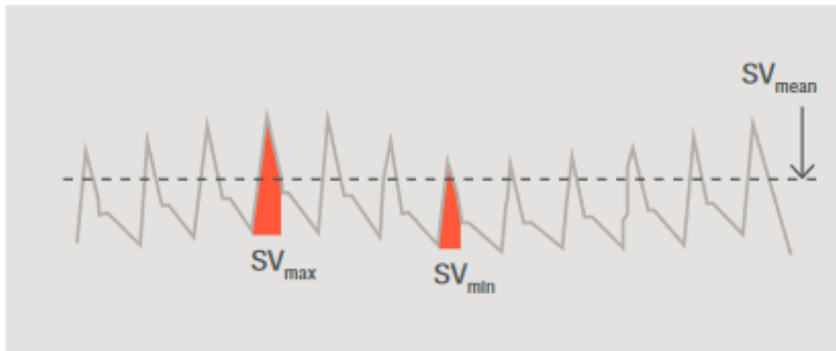
Parameter	Erklärung
Mittlere Durchgangszeit (MTt)	Zeit, nach der die Hälfte des Indikators den Detektionsort passiert hat
Exponentielle Abfallzeit (DSt)	Auswaschfunktion des Indikators
Intrathorakales Blutvolumen (ITTV)	$CO \times MTt$
Pulmonales Thermovolumen (PTV)	$CO \times DSt$
Globales enddiastolisches Volumen (GEDV)	$ITTV - PTV$
Intrathorakales Blutvolumen (ITBV)	$GEDV \times 1,25$
Extravaskuläres Lungenwasser (EVLW)	$ITTV - ITTB$

Pulmonaler vaskulärer Permeabilitätsindex (PVPI)



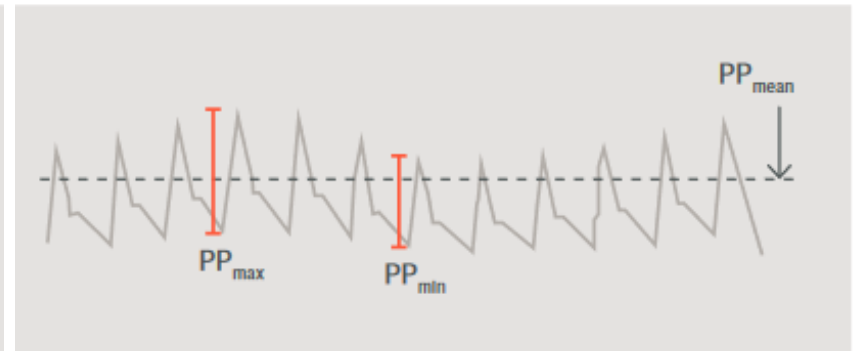
- Normalwert: 1,0 – 3,0
- Hinweis auf Ätiologie eines Lungenödems: hoher PVPI deutet auf nicht kardiogene, bzw. hydrostatische Ursache eines Lungenödems hin

Schlagvolumenvariation & Puls Pressure Variation



Stroke volume variation (SVV)

$$SVV = \frac{(SV_{max} - SV_{min})}{SV_{mean}}$$



Pulse pressure variation (PPV)

$$PPV = \frac{(PP_{max} - PP_{min})}{PP_{mean}}$$

Vorhersage einer Volumenreagibilität

Kontraktilitätsparameter des LV

Globale
Ejektionsfraktion

$$GEF = \frac{4 \times SV}{GEDV}$$



GEF
25–35%

Kardialer
Funktionsindex

$$CFI = \frac{CI_{TD} \times 1000}{GEDV}$$

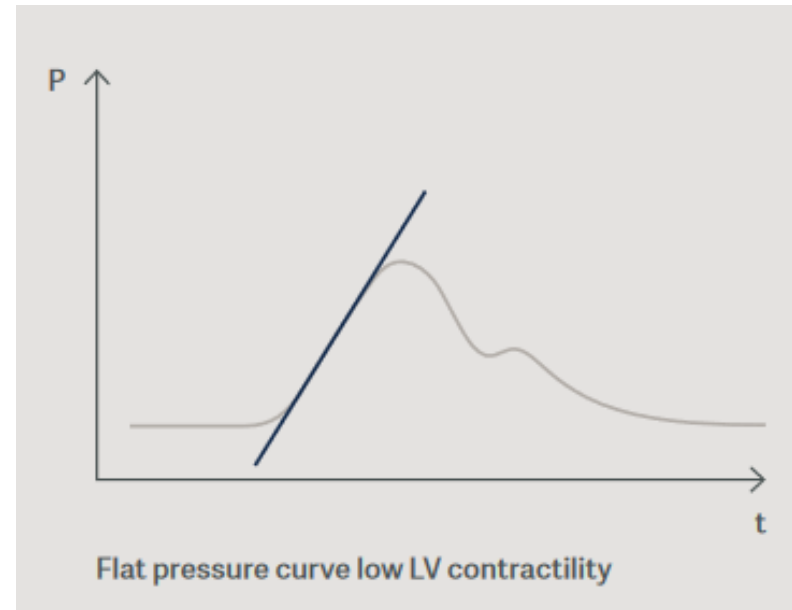
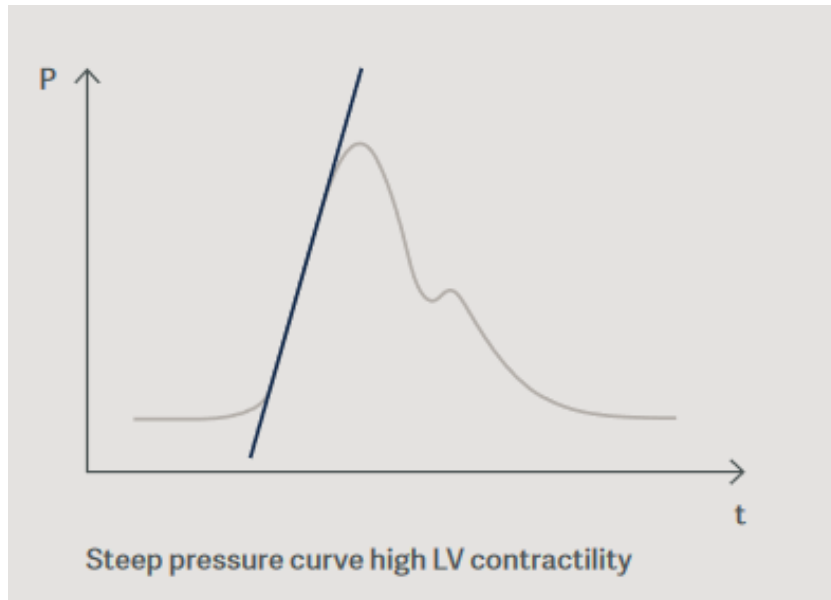
CFI
4.5–6.5 l/min

Kardialer
Powerindex

$$CPI = CI_{PC} \times MAP \times 0.0022$$

CPI
0.5–0.7 W/m²

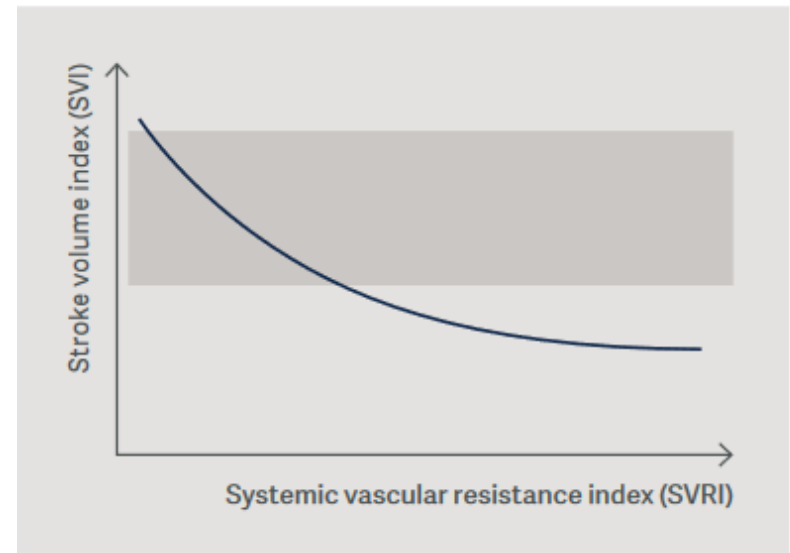
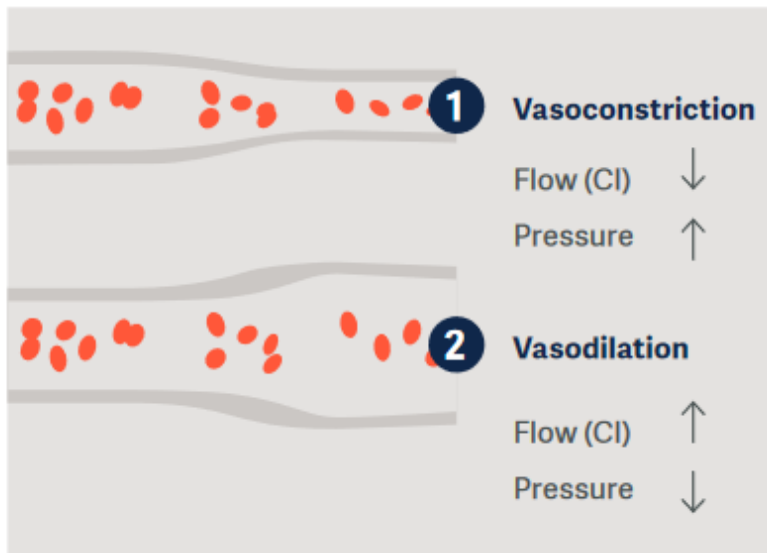
Linksventrikulärer Kontraktilitätsindex



dPmx

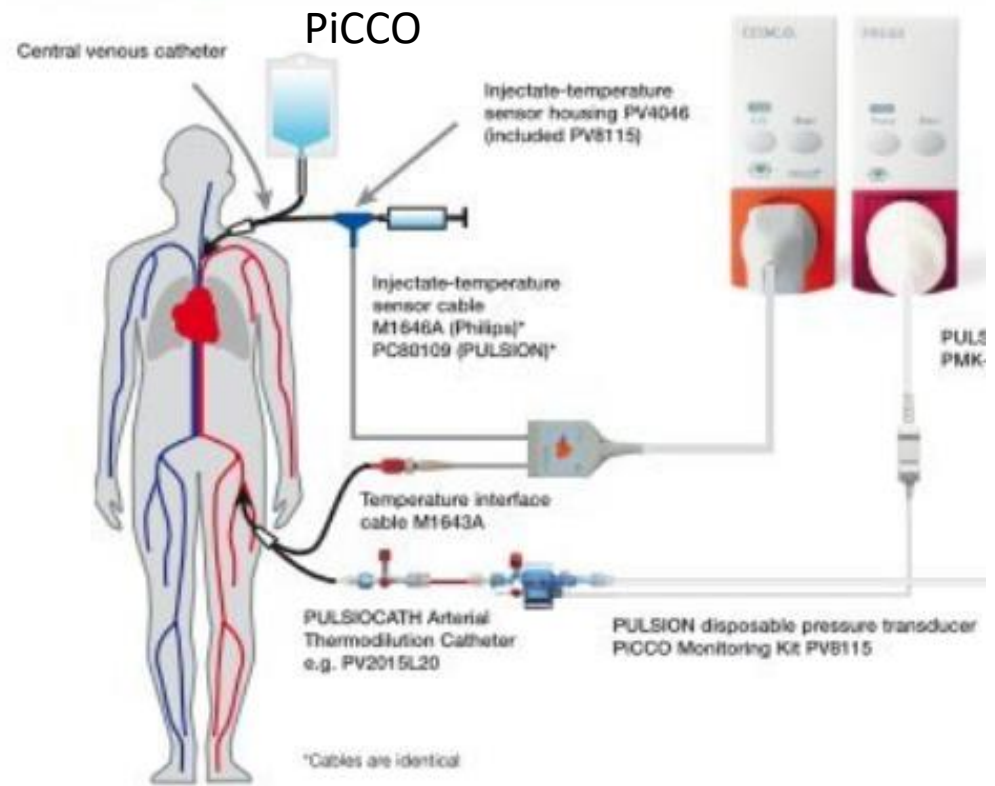
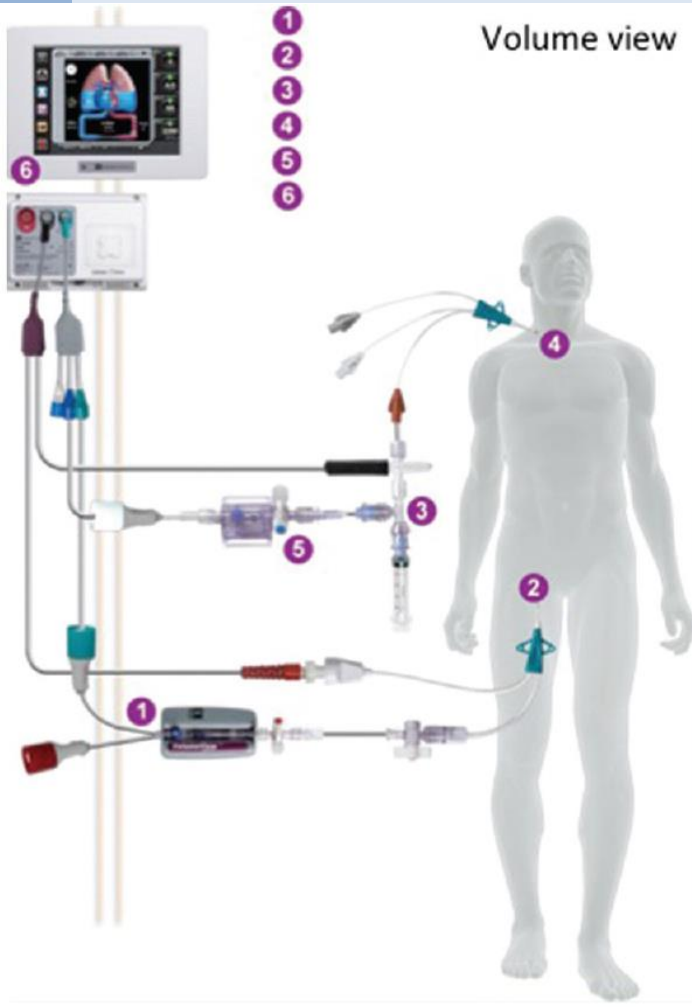
900–1200 mmHg/s (healthy heart)

Nachlast / peripherer Widerstand

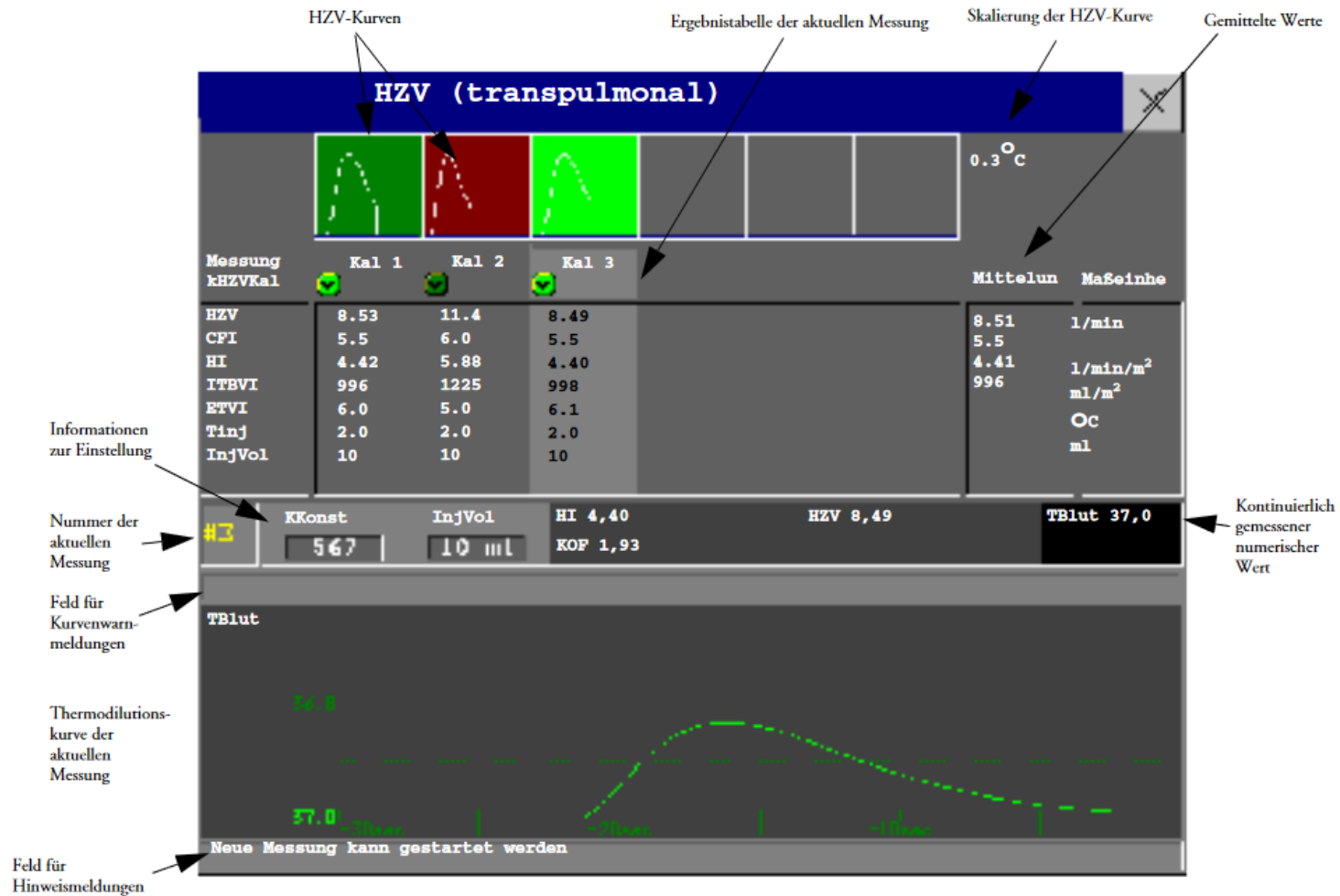


$$SVRI = \left[\frac{(MAP - CVP)}{CI} \right] \times 80$$

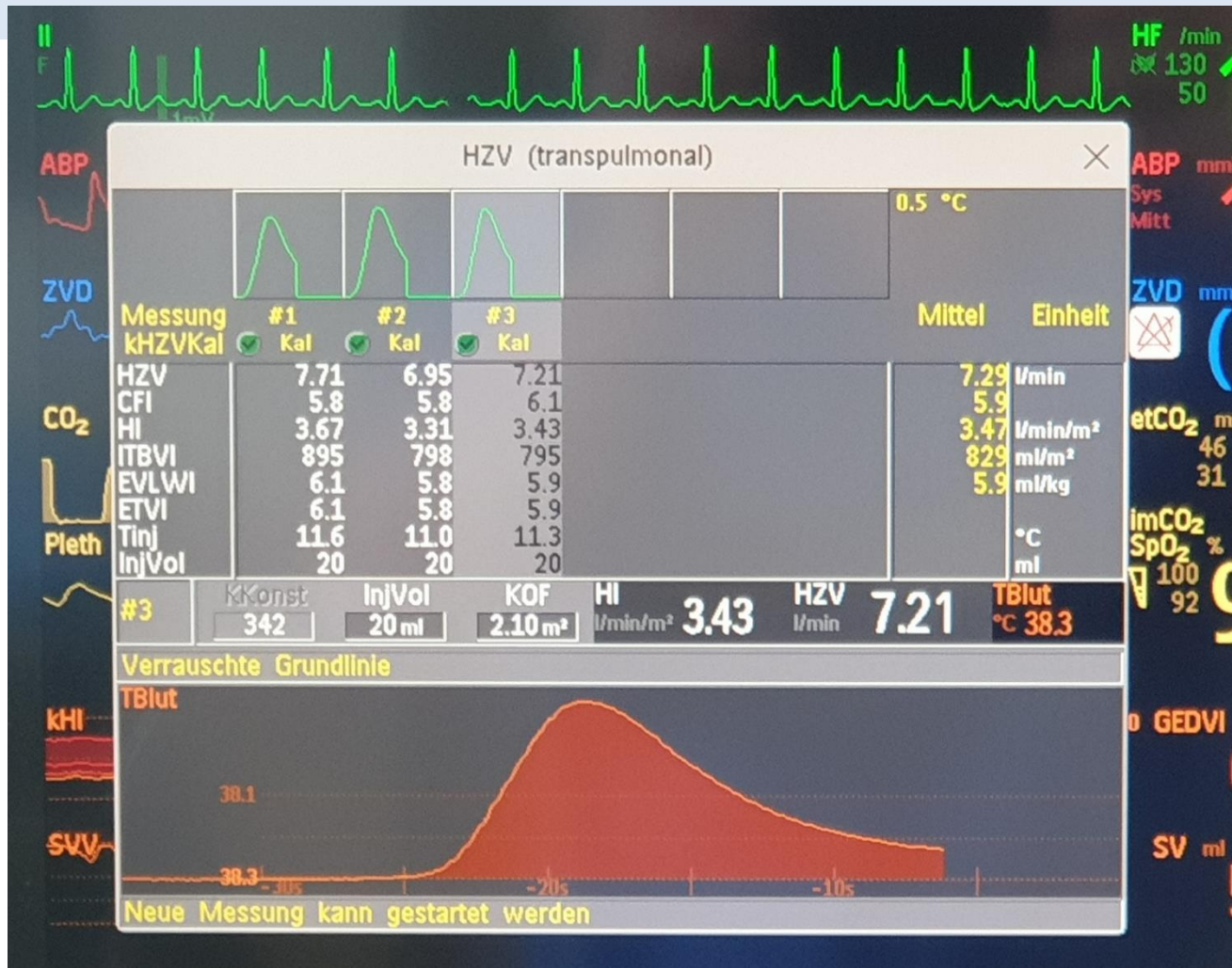
Transpulmonale Thermodilution: Praktisches Vorgehen



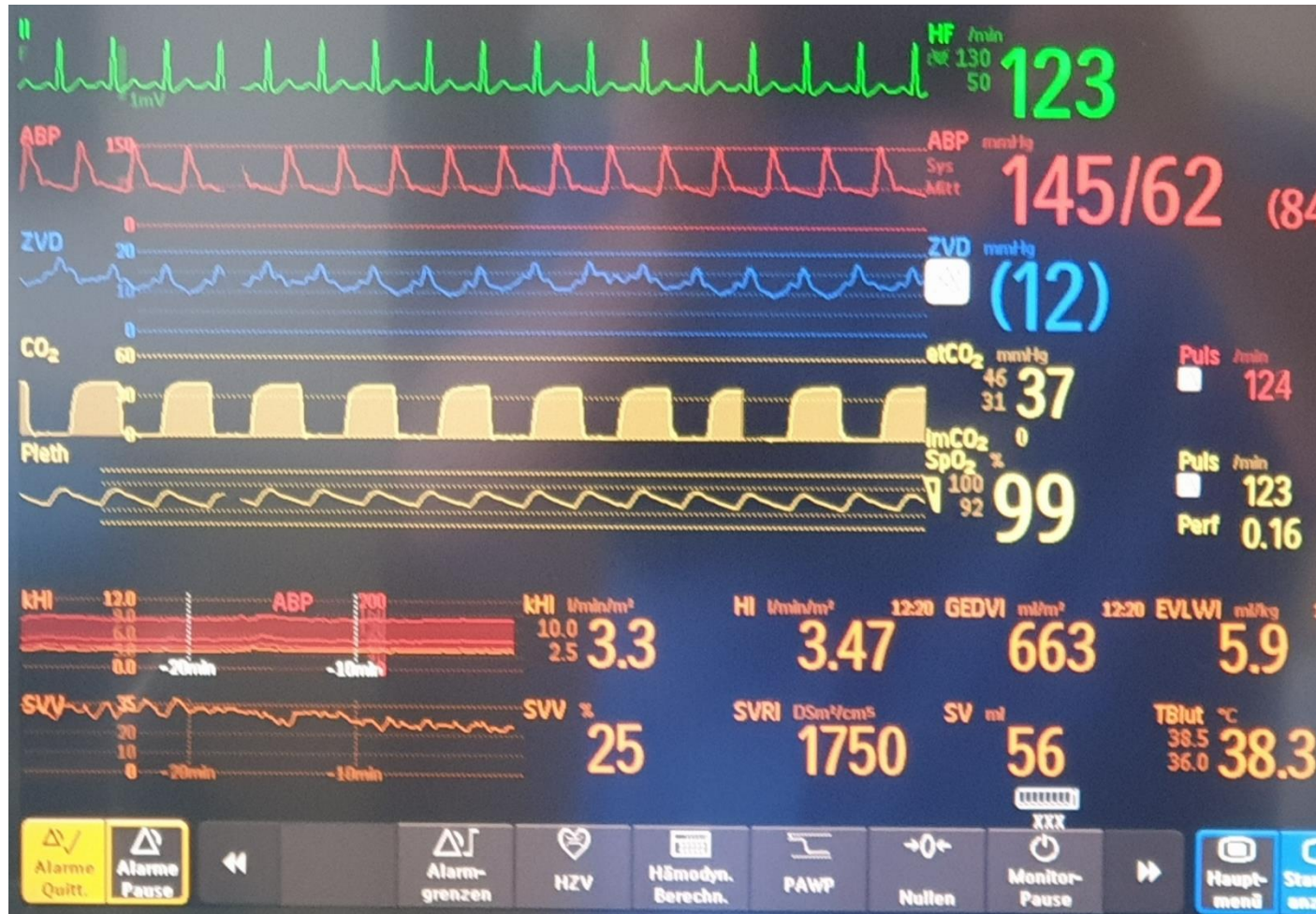
PiCCO-Messfenster



Thermodilutionsmessung



Kontinuierliches Monitoring



PiCCO-Normwerte

Abkürzung	Parameter	„Normwerte“	„Normwerte“ indexiert
HZV/HI	Herzzeitvolumen	5-7 l/min	3,0 – 5,0 L /min x m ²
SV/SI	Schlagvolumen (-index)	50-110 ml	40-60 ml / m ²
SVV	Schlagvolumenvariation	< 10 %	
PPV	Pulsdruck-Variation	< 10 %	
GEDV/GEDVI	Globales enddiastolisches Volumen		600-800 ml / m ²
GEF	Globale Ejektionsfraktion	25-35%	
EVLW/EVLWI	Extravasales Lungenwasser		3,0 – 7,0 ml/kg
ITBV/ITBVI	Intrathorakales Blutvolumen		850-1000 ml / min x m ²
SVR/SVRI	Systemischer Gefäßwiderstand		1700 – 2400 dyn x s x cm ⁵ x m ²
CFI	Kardialer Funktionsindex	4,5- 6,5 l min	
dPmx	Linksventrikulärer Kontraktilitätsindex	900 -1200 mmHg/sec	

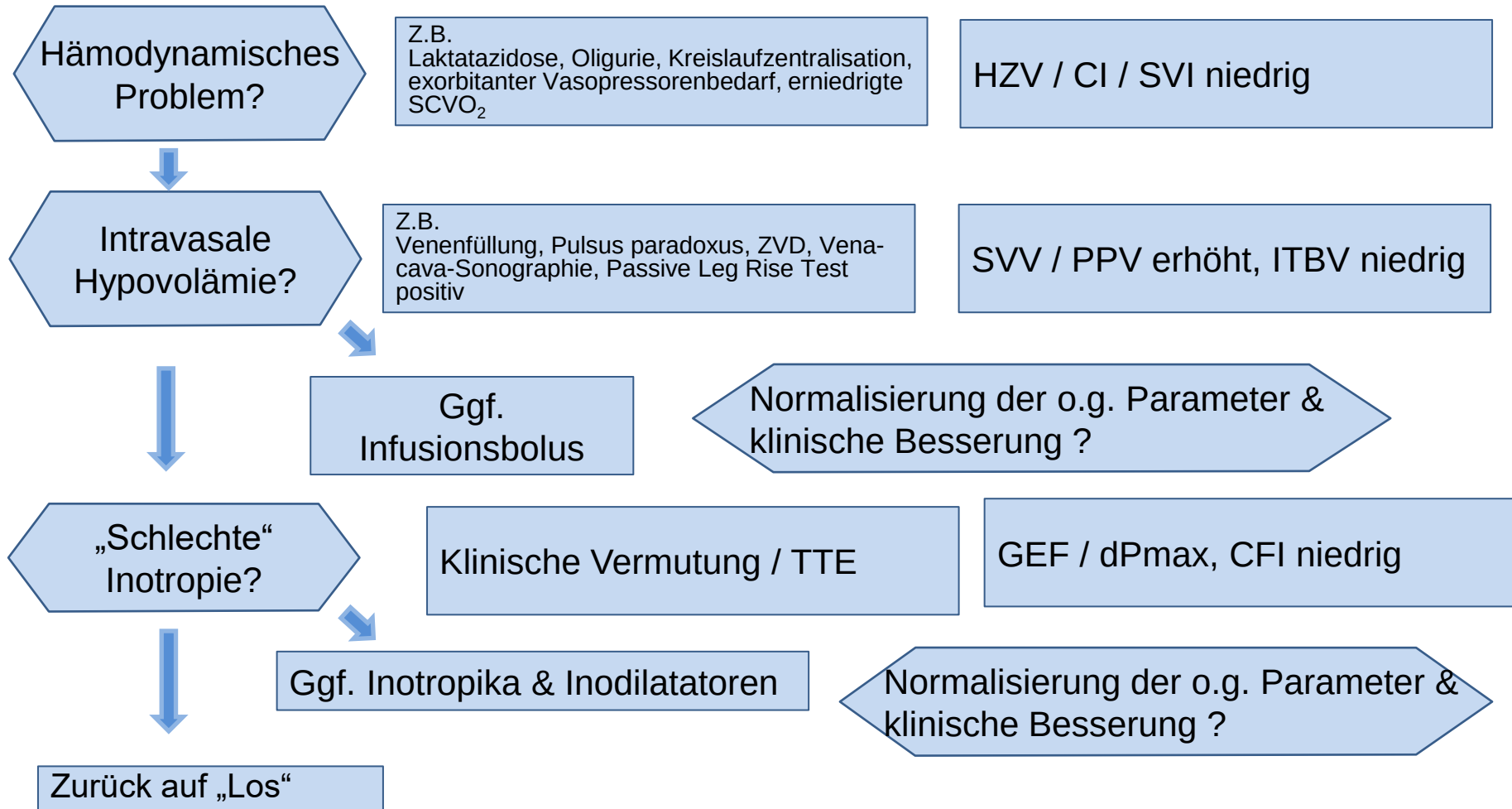
Risiko des erweiterten hämodynamischen Monitorings

Treat the numbers or treat the patient?

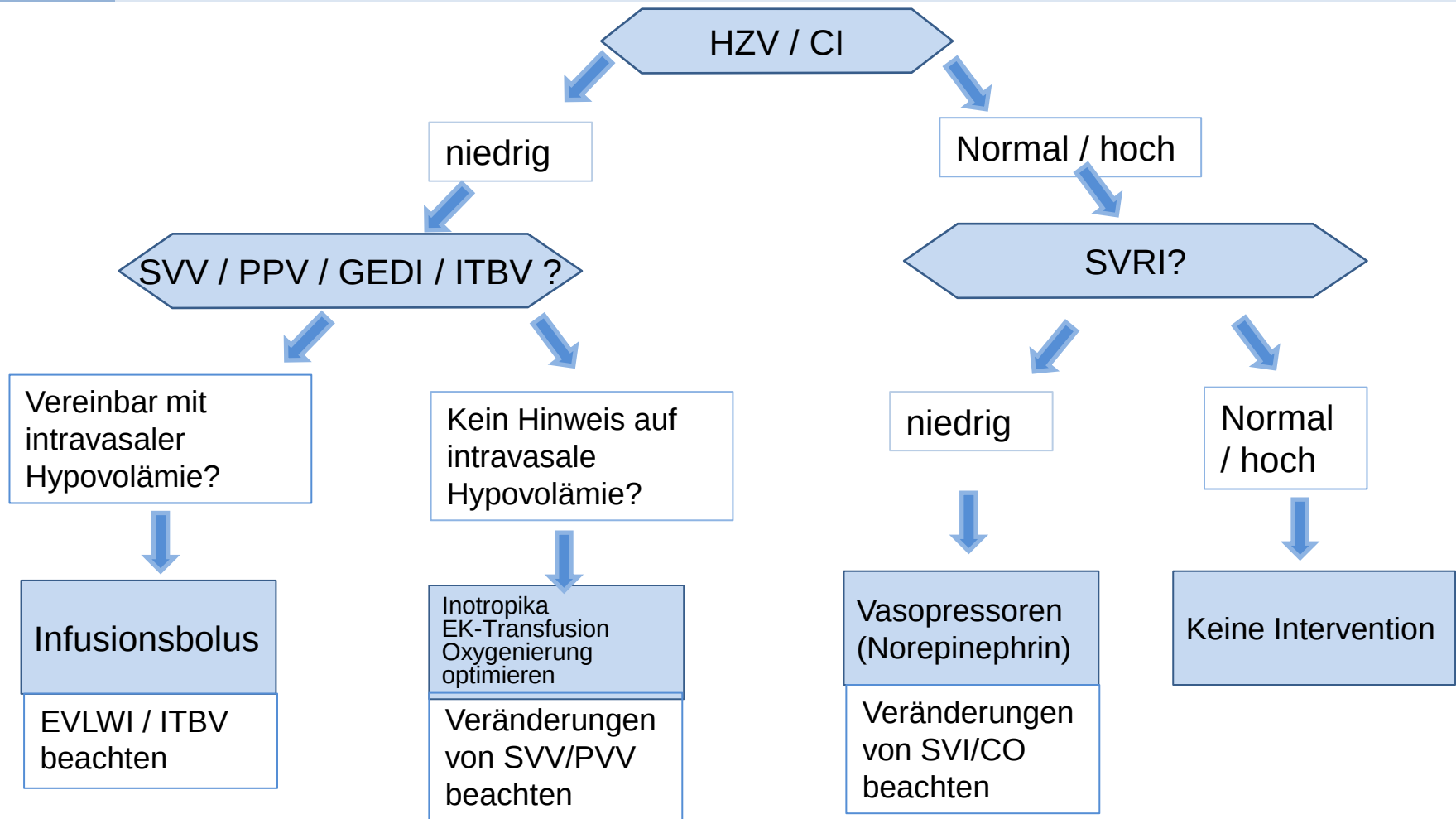
Die 4 Grundfragen der hämodynamischen Optimierung:

- 1) Hat die/der Patient*in aktuell ein hämodynamisches Problem?
- 2) Ist das HZV / SV (relativ) zu niedrig?
- 3) Ist das intravasale Volumen optimiert?
- 4) Sind meine Behandlungsmaßnahmen (noch) effektiv?

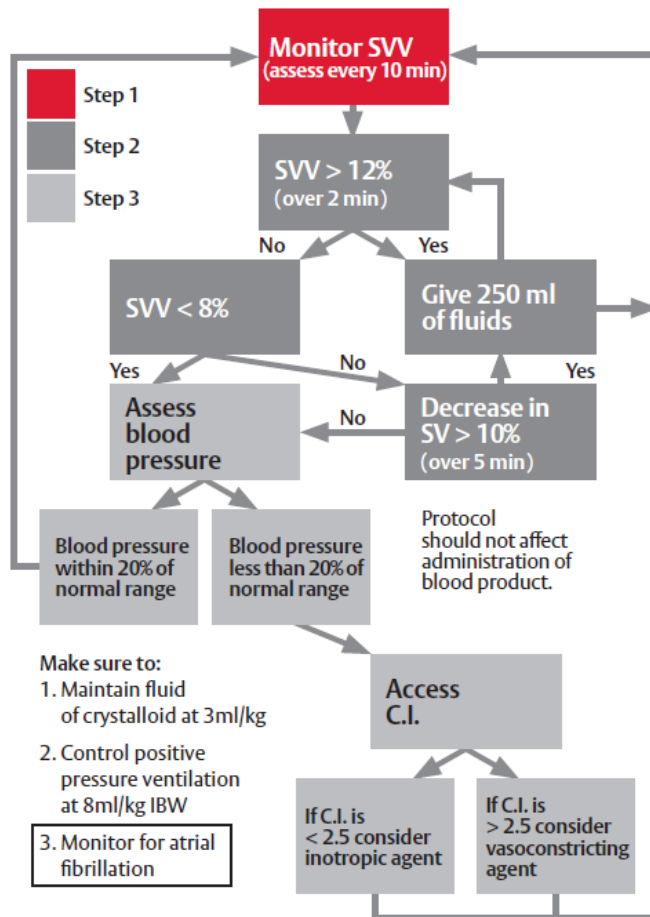
Einsatz des PiCCO im klinischen Kontext der hämodynamischen Instabilität



PiCCO basierte hämodynamische Optimierung



PiCCO-Einsatz in der Konstellation Optimierung des intravasalen Volumens (z.B. perioperativ)



Limitations to the use of SVV (LIMITS)

- Low HR/RR ratio
- Irregular heart beats
- Mechanical ventilation with low tidal volume
- Increased abdominal pressure
- Thorax open
- Spontaneous breathing

Interventional effects on SVV

- PEEP
Increasing levels of positive end expiratory pressure (PEEP) may cause an increase in SVV, the effects of which may be corrected by additional volume resuscitation if warranted
- Vascular tone
The effects of vasodilatation therapy may increase SVV and should be considered before treatment with additional volume

PiCCO gestützte restriktives Flüssigkeitsregime (z.B. Lungenversagen, große viszeralchirurgischer Eingriff)

