



BMBF-Innovationsforum „Krankenhaus 4.0“ (i.Koop.m. „hospitalconcepts 17“), Lübeck, 13. Oktober 2017
Symposium „Medizintechnik 4.0 – Assistenzsysteme“

Smart Incubator („Inkubator 4.0“)

Dominique Singer

Kontakt: dsinger@uke.de

© D. Singer 2017

„Smarte“ Inkubatortechnik zu Beginn des 20. Jahrhunderts



Technischer Fortschritt über 100 Jahre



Technischer Stand zu Beginn des 21. Jahrhunderts



WÄRMETHERAPIE

Konvektive Wärmezufuhr

↑↑ durch zirkulierende Warmluft

Konduktive Wärmeverluste

↓↓ durch isolierende Unterlage

Radiative Wärmeverluste

↓↓ durch temperierte Doppelwände

Evaporative Wärmeverluste

↓↓ durch befeuchtete Luft

Steuerung Lufttemperatur und -feuchte
Regelung Hauttemperatur (Servo Control)

SAUERSTOFFTHERAPIE

Regelung des O₂-Gehalts der Luft

Neuere Tendenzen zu Beginn des 21. Jahrhunderts



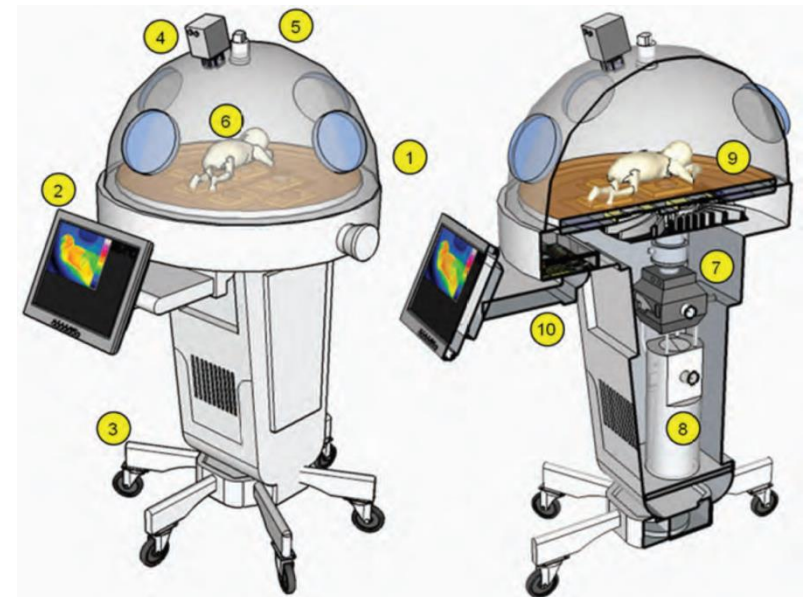
„ENTWICKLUNGSFÖRDERNDE PFLEGE“:

Hybridmodelle aus Inkubator und
offener Pflegeeinheit
Differenzierte Beleuchtung
Geräuschpegelanzeige

© GE Healthcare

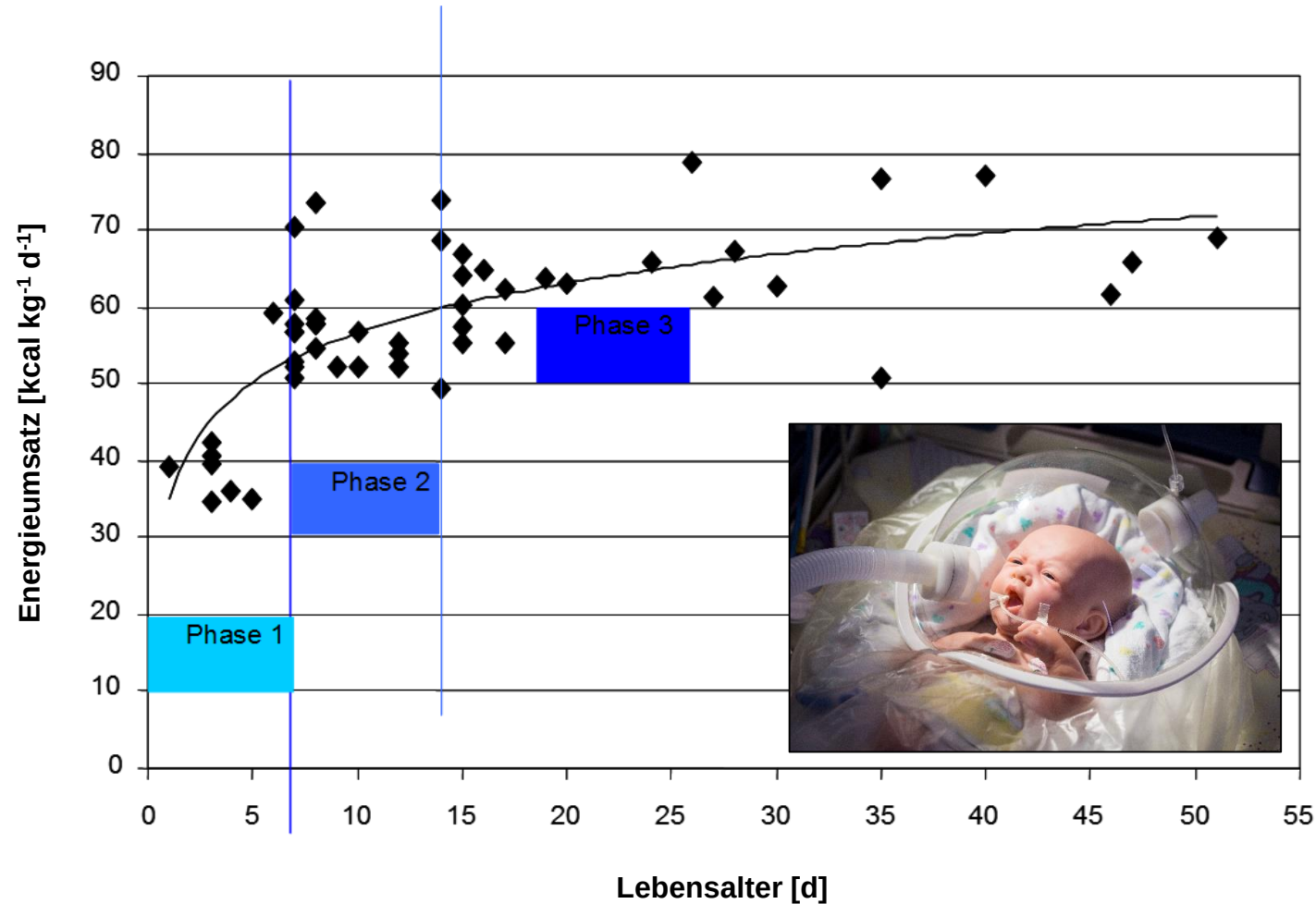
KONTAKTLOSES MONITORING:

Temperatur
Herz-/Atemfrequenz
O₂-Sättigung



Abbas AK et al: Neonatal infrared thermography monitoring. In: Neonatal monitoring technologies, design for integrated solutions, ed by Chen W et al; MISR, Hershey 2012, chapt 5, pp 84-124

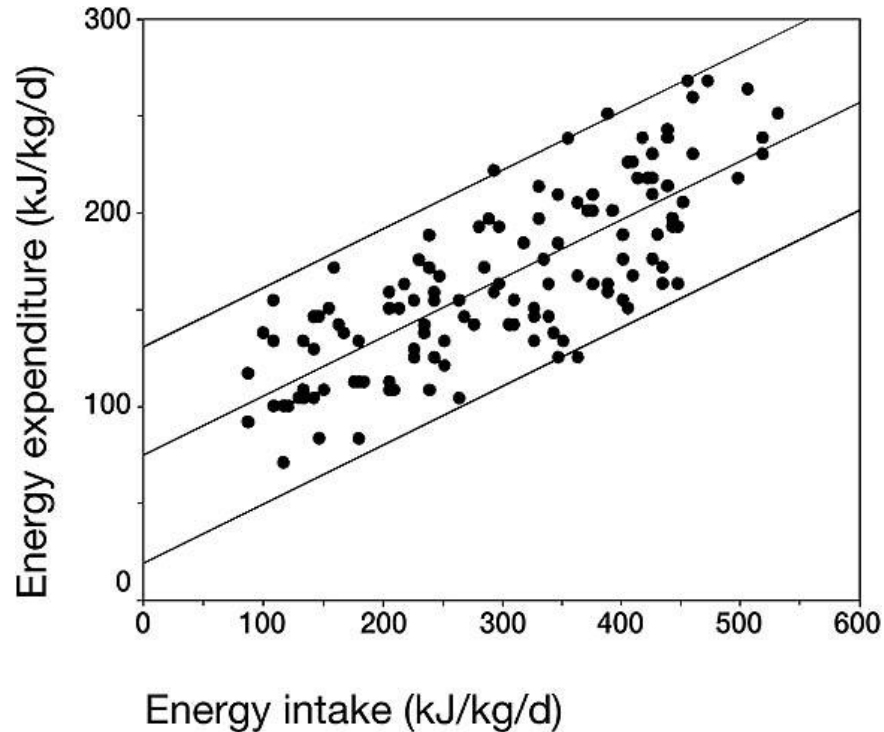
Postnataler Energieumsatzanstieg bei Frühgeborenen (mittels indirekter Kalorimetrie)



Hering J: Der postnatale Energieumsatzanstieg Frühgeborener:
Biologische Konstante oder alimentäre Variable? Med Diss, Würzburg 2009

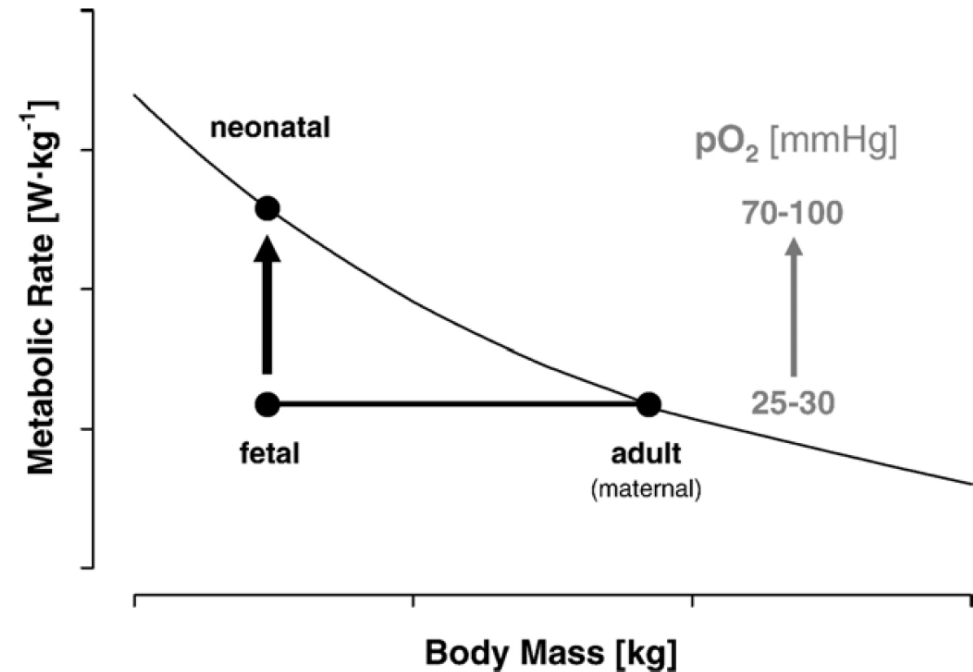
Ursachen des postnatalen Energieumsatzanstiegs

Einfluss der Nahrungszufuhr



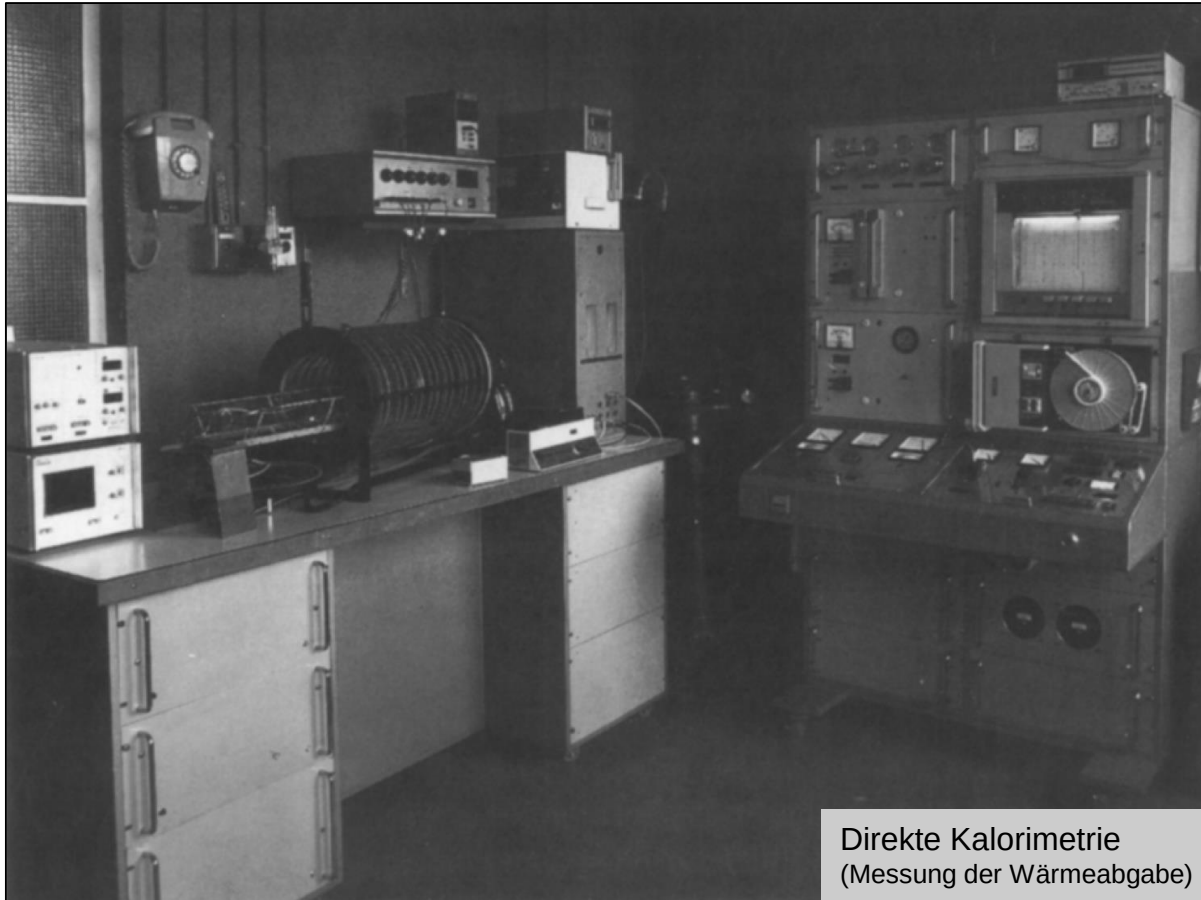
Bauer K et al: Longitudinal study of energy expenditure in preterm neonates <30 weeks' gestation during the first three postnatal weeks. J Pediatr 2003; 142: 390-396

Biologische Gesetzmäßigkeit

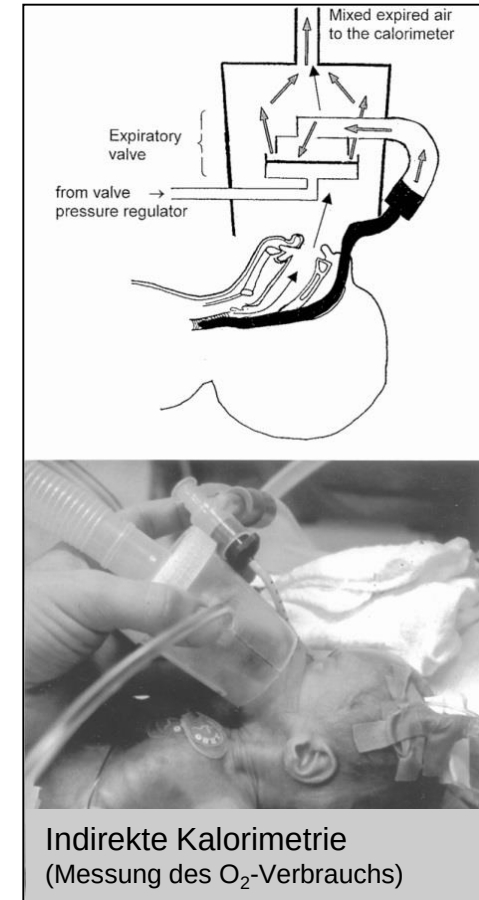


Singer D, Mühlfeld C: Perinatal adaptation in mammals: The impact of metabolic rate. Comp Biochem Physiol A 2007; 148: 780-784

Frühere Ansätze einer Inkubator-Kalorimetrie



Sauer PJJ, Visser HKA:
Calorimetry of newborn infants: techniques and applications.
Thermochim Acta 1991; 193: 49-56



Bauer K et al: In vitro validation and
clinical testing of an indirect calorimetry
system for ventilated preterm infants ...
Ped Res 2001; 49: 394-401

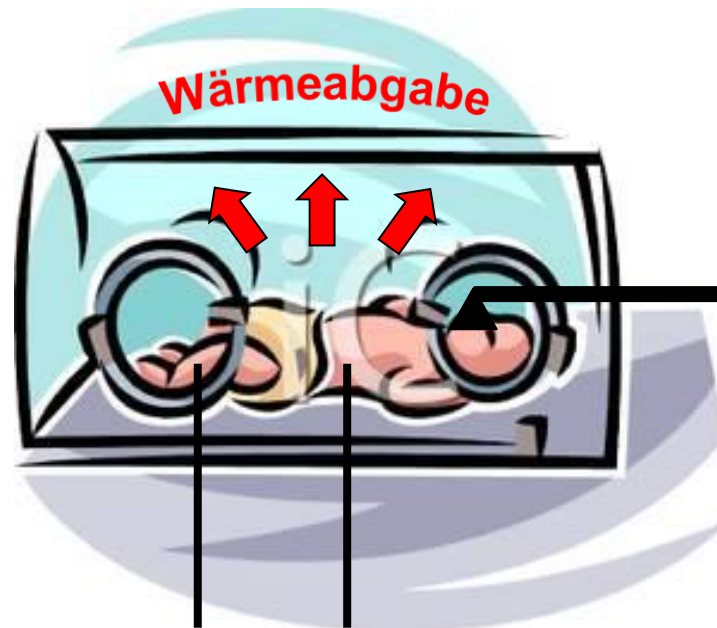
Neuere Überlegungen zur Inkubator-Kalorimetrie

Thermoneutralpflege:

Wärmeabgabe = Wärmebildung = Grundumsatz

„Incubator
Settings“:

T_{Luft}
 rF



VO_2
0 0

Metabolische
Zielgröße:
Grundumsatz

T_p ΔT T_c

Thermische
Zielgrößen:

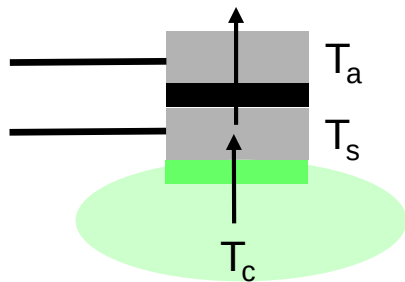
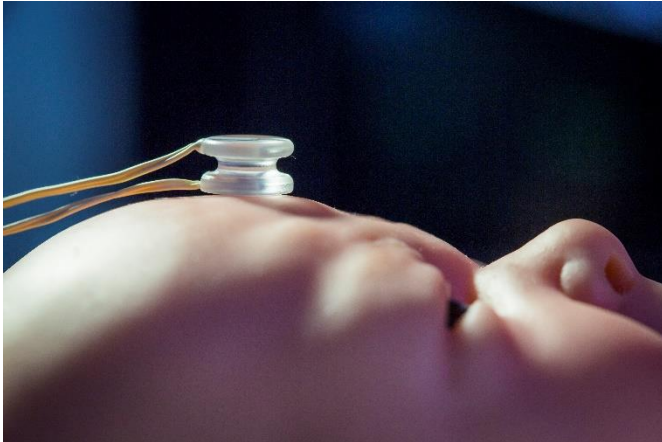
$T_c = 37.0 \dots 37.5 \dots 38.0 \text{ } ^\circ\text{C}$

$\Delta T < 0,5 \dots 1,0 \dots 2,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

?!

Möglichkeiten zur Erfassung der Wärmeabgabe im Inkubator

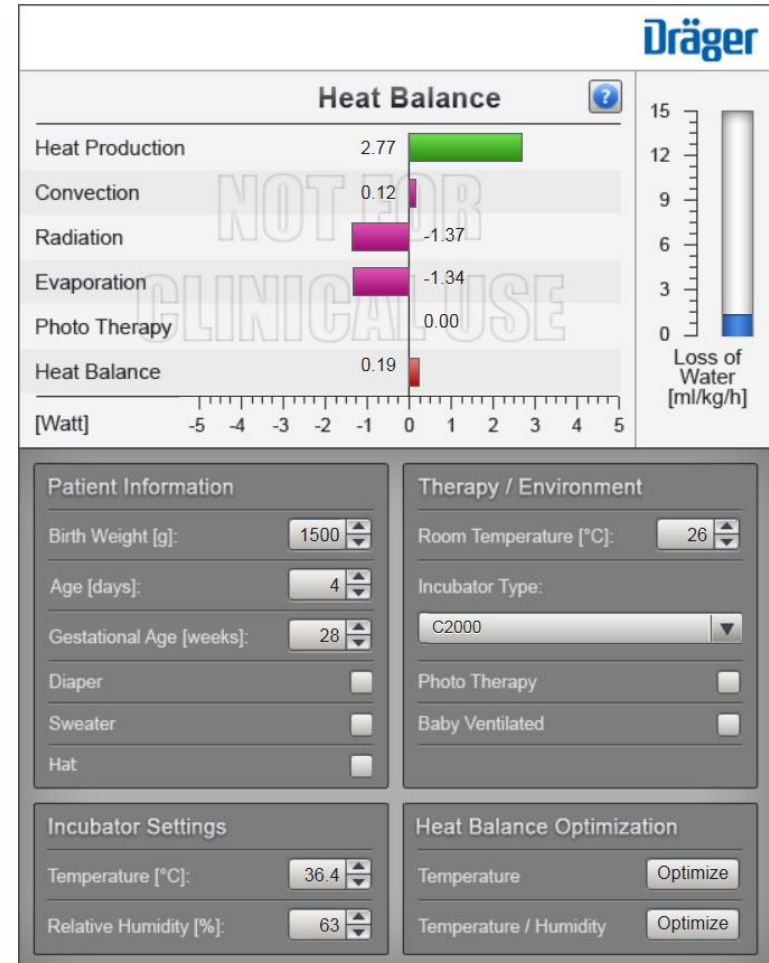
Messtechnisch (Wärmeflussensor)



$$Q \sim (T_s - T_a) \sim (T_c - T_s)$$

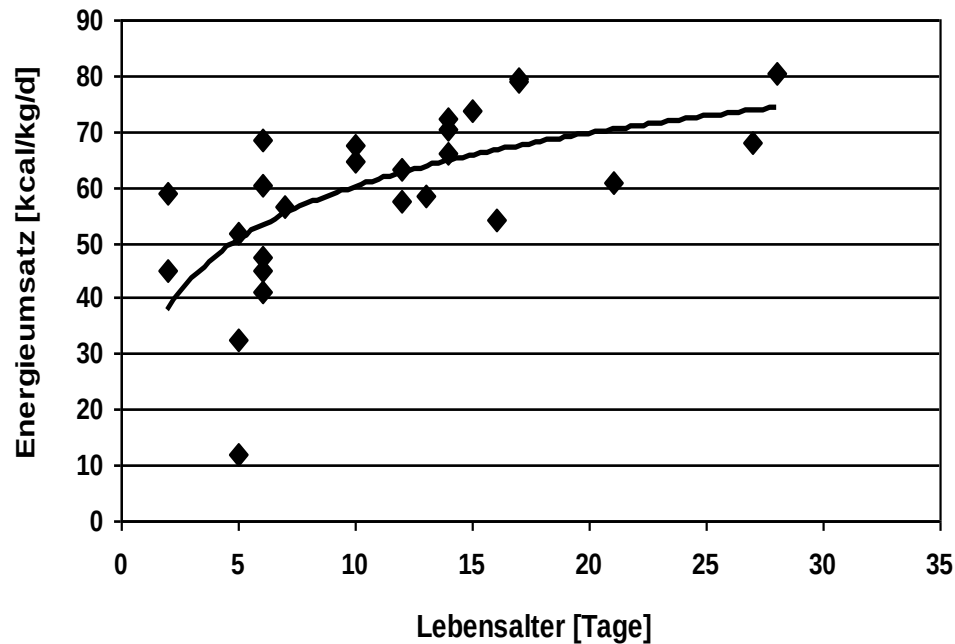
$$T_a = T_{\text{ambient}} \quad T_s = T_{\text{skin}} \quad T_c = T_{\text{core}}$$

Rechnerisch (Inkubatoreinstellungen)

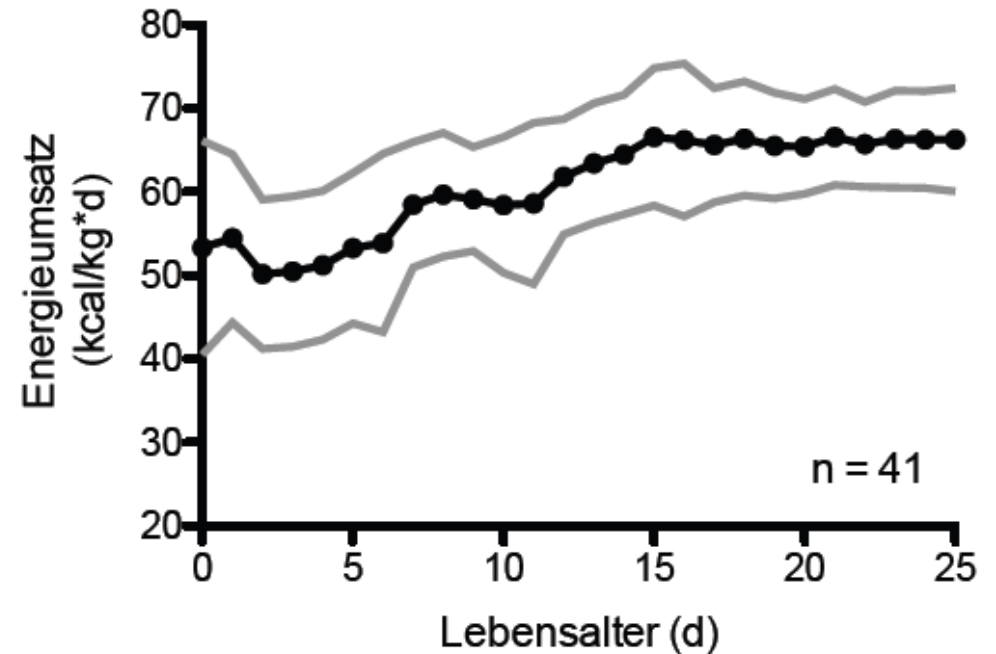


Energieumsatzanstieg bei Frühgeborenen: Trendkurven

Wärmeflussmessung

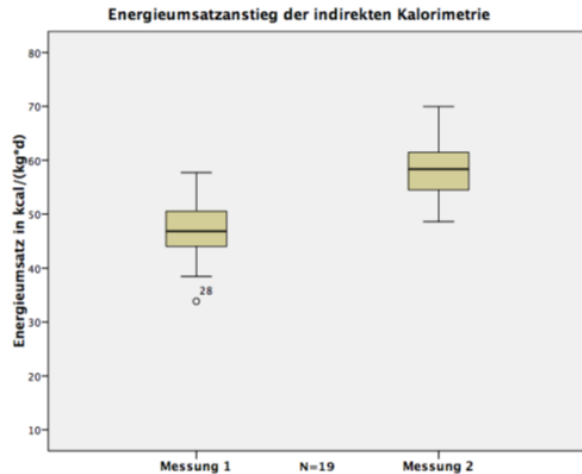


Berechnung aus den Inkubatoreinstellungen

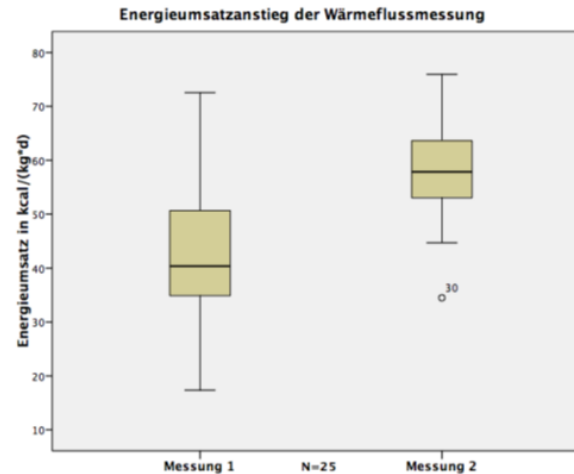


Energieumsatzanstieg bei Frühgeborenen: Zwei-Punkte-Vergleich

Indirekte Kalorimetrie



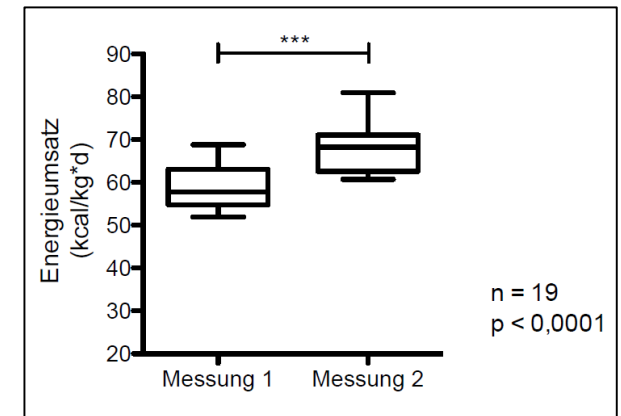
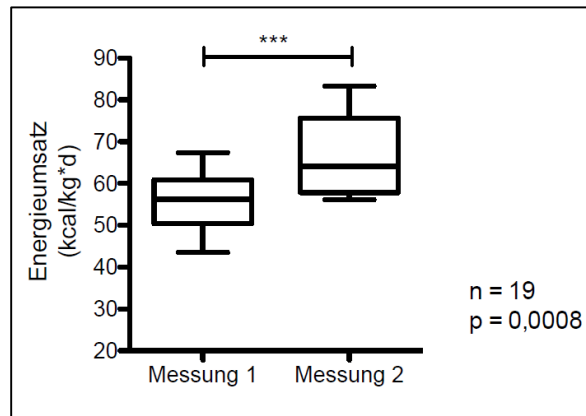
Wärmeflussmessung



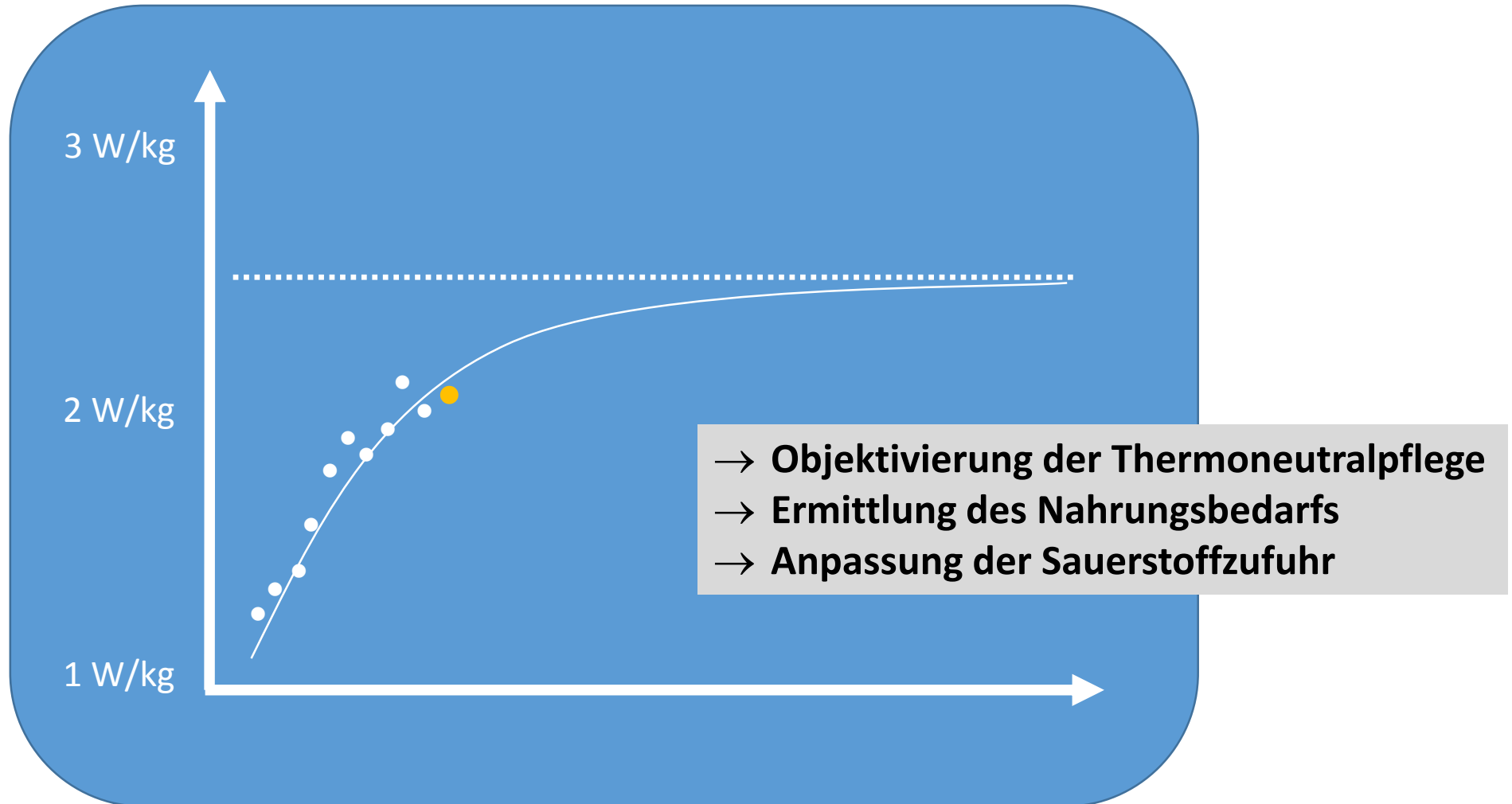
Berechnung aus den Inkubatoreinstellungen

Beckmann AK: Med Diss, Hamburg, in Vorbereitung

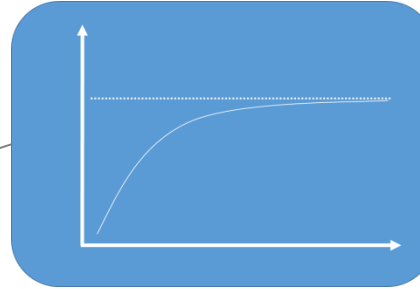
Zwicker A: Med Diss, Hamburg, in Vorbereitung



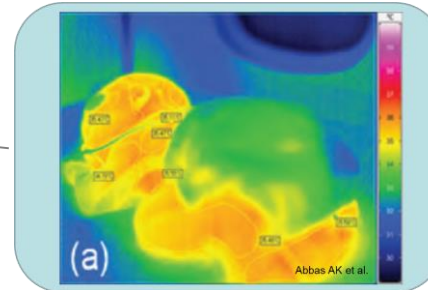
Energieumsatzmonitoring bei Frühgeborenen: Möglicher Nutzen



Weitere denkbare „smarte“ Inkubatorfunktionen



Cave
Hypo-/Hypermetabolismus!



Cave
Hypo-/Hyperthermie,
Zentralisation!



Cave Gewebs-
hypoxie/-hyperoxie!



Cave HF-Variabilität/
Vitaldateninstabilität!

Zusammenfassung: Versuch einer Evolution der Inkubatortechnologie

Inkubator 5.0	Intelligenter „Brutkasten“ mit autonomer Vitaldaten-sensitiver Klimakontrolle	Physiologische Parameter wirken auf Umgebungsgrößen
Inkubator 4.0 („Smart Incubator“)	Regulierte Wärme-/Feuchte-/O ₂ -Kammer mit integriertem Vitaldaten-Processing	Physiologische Parameter werden <i>bewertet</i>
Inkubator 3.0	Regulierte Wärme-/Feuchte-/O ₂ -Kammer mit (kontaktlosem) Vitaldaten-Monitoring	Physiologische Parameter werden <i>angezeigt</i>
Inkubator 2.0	Wärme- und Feuchtekammer mit Temperatur- und O ₂ -Regulation	Umgebungsgrößen werden (teilweise) maschinell <i>geregelt</i>
Inkubator 1.0	Wärmekammer mit O ₂ -Einleitung	Umgebungsgrößen werden manuell <i>gesteuert</i>