

Aktive technische Unterstützung des Schwellungsabbaus an Frakturen

- 10. Tagung „Feinwerktechnische Konstruktion“ -

Annekathrin Päßler

Dresden, 23.09.2016

Einleitung: Frakturschwellungen

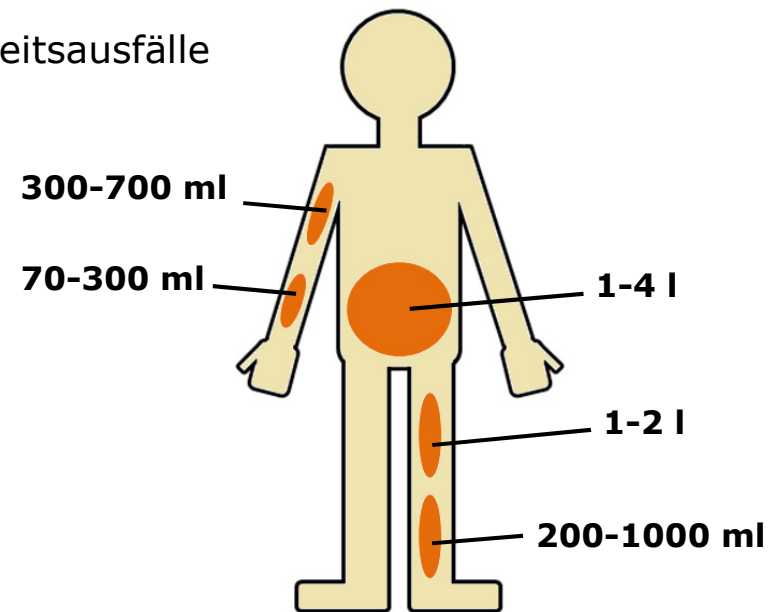
Problemstellung

Ausbildung einer reaktiven Schwellung des Haut-Weichteilmantels im Frakturbereich nach einem Verletzungsvorgang

- Verzug der Operation bis zum Abschwellen
- Anstieg der Behandlungskosten, längere Arbeitsausfälle



Schwellung des Gewebes und
Ödembildung am rechten Fuß



Einblutungsmenge an verschiedenen
Frakturstellen

/nach J. Grifka, J. Krämer: Orthopädie,
Unfallchirurgie, Springer-Verlag/

Ziel des Projekts

Übliche Behandlungskonzepte



Teilmodell Kühlung

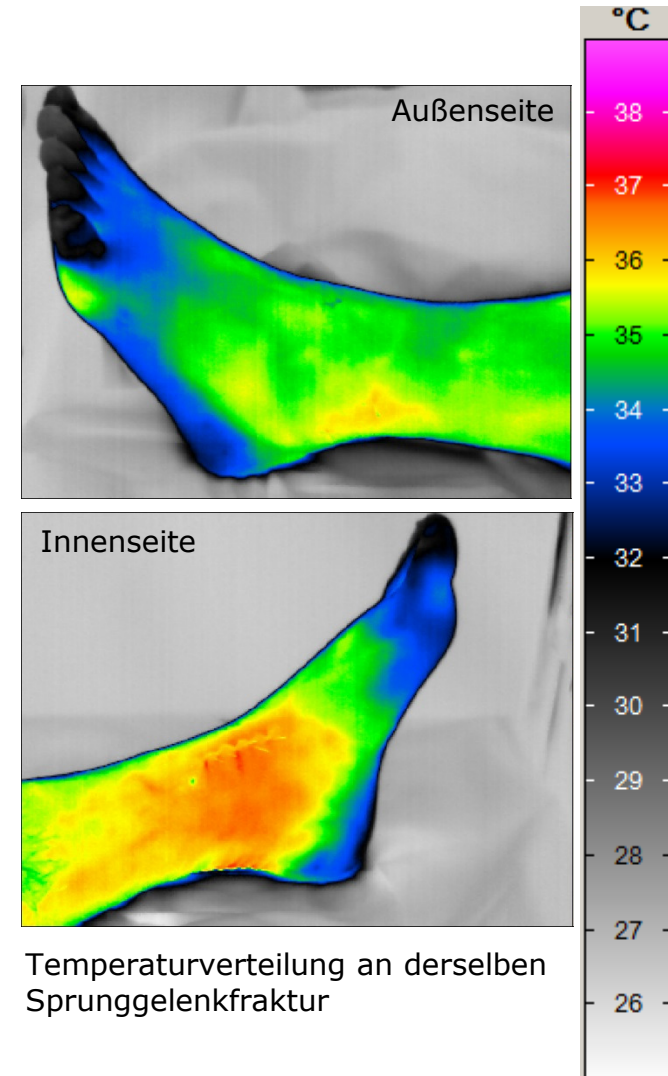
Biologischer Hintergrund

Ausbildung einer milden lokalen **Hypothermie** an der Frakturstelle führt zu:

- Verengung der Blutgefäße (Vasokonstriktion)
- Reduktion des Stoffwechsels nach RGT-Regel (Reaktionsgeschwindigkeits-Temperatur-Regel):
 10 K Temperaturerniedrigung bewirkt Reduktion der Stoffwechselgeschwindigkeit um ca. 50 %

$$Q_{10} = \left(\frac{v_{R2}}{v_{R1}} \right)^{\frac{10 K}{T_2 - T_1}}$$

Q ... Steigerungsfaktor der Reaktionsgeschwindigkeit
 v_R ... Reaktionsgeschwindigkeit
 T ... Temperatur
- Verringerung der Nervenleitgeschwindigkeit und Erhöhung der Refraktärperiode



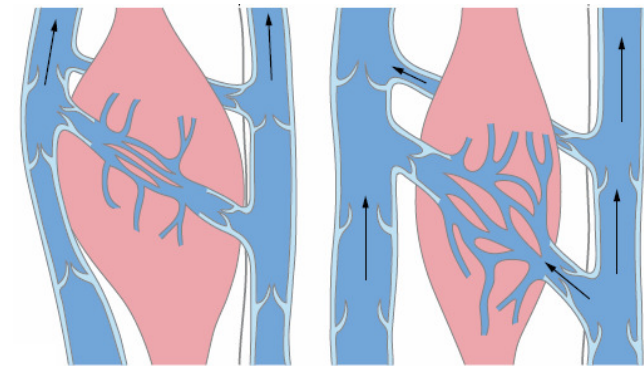
Teilmodell Kompression

Biologischer Hintergrund

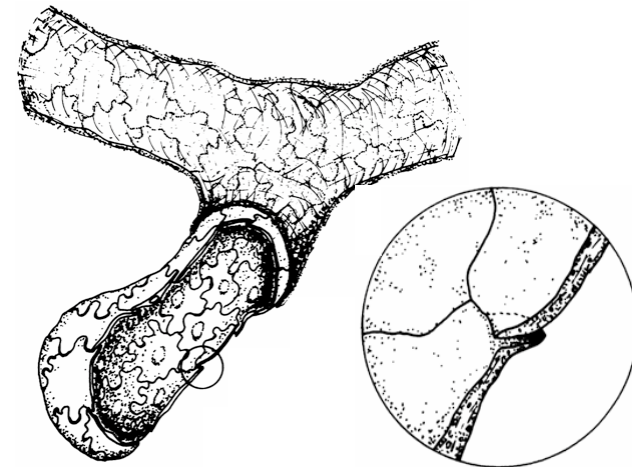
Technische, vereinfachte Nachbildung einer manuellen

Lymphdrainage an der Frakturstelle führt zu:

- verringertes räumliches Ausbreitungsgebiet für schwellendes Gewebe durch Drucksteigerung
- Senken der Durchblutung durch dauerhafte Kompression
- Verbessern des venösen und lymphatischen Rückstroms
- Imitation des natürlichen Vorgangs des Gehens und Greifens durch Kompressionsimpulse



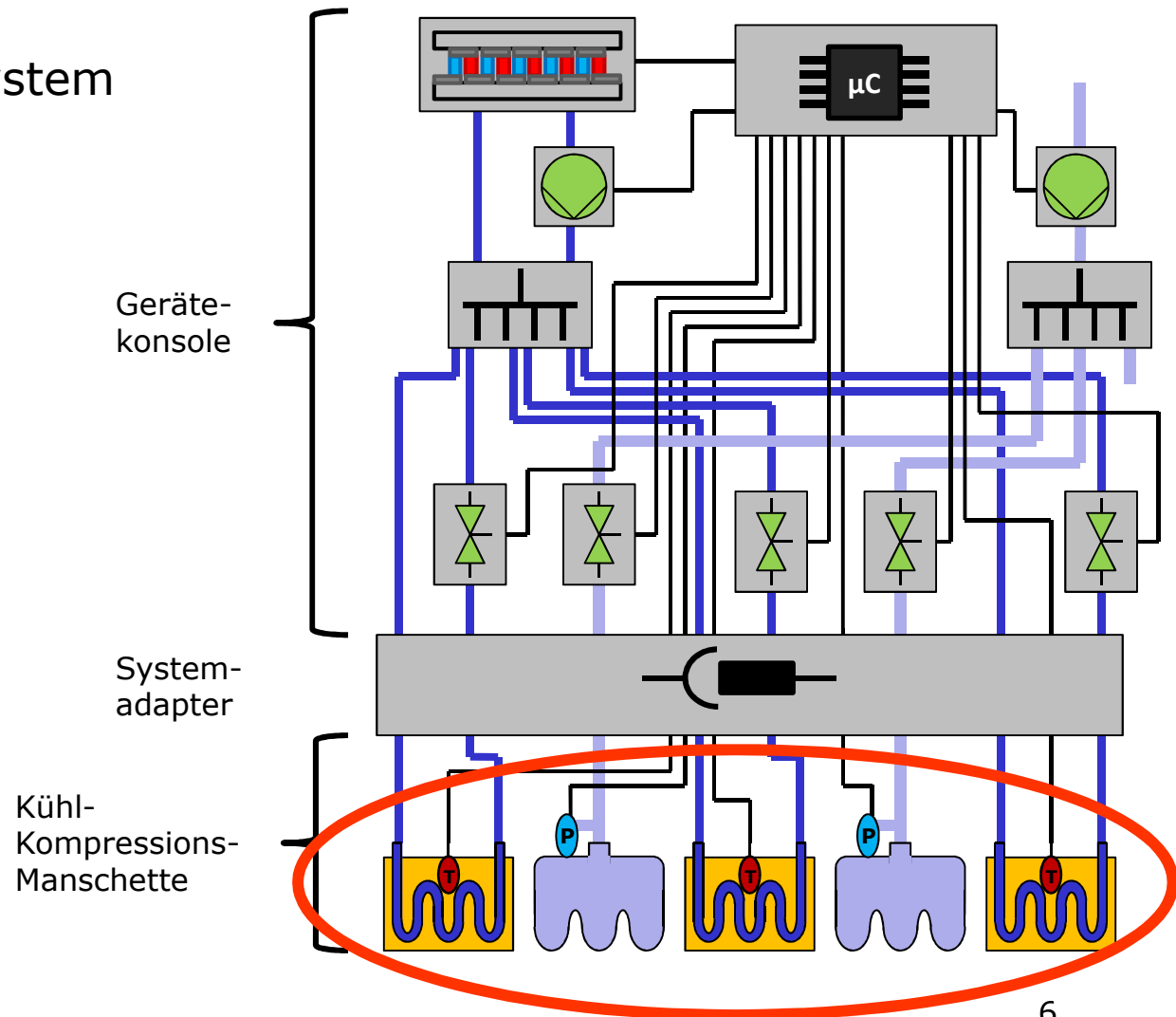
Muskelvenenpumpe bei Kontraktion und Erschlaffung



Lymphgefäß mit Überlappungsstelle der Endothelverbindungen

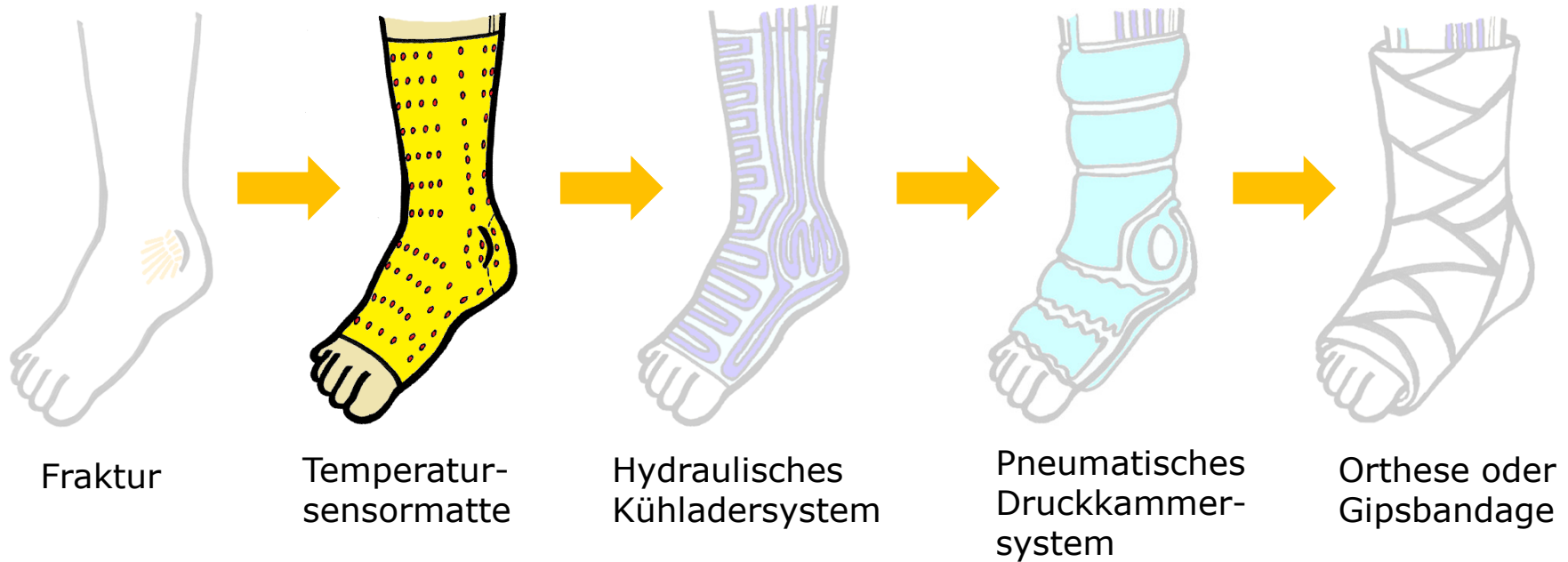
Alle Abbildungen folgender Quelle entnommen:
/Bringezu, G.; Schreier, O.: Lehrbuch der Entstauungstherapie, Springer-Verlag 2014/

Konzept: Kühl-Kompressions-System



Kühl-Kompressions-Manschette

Aufbau

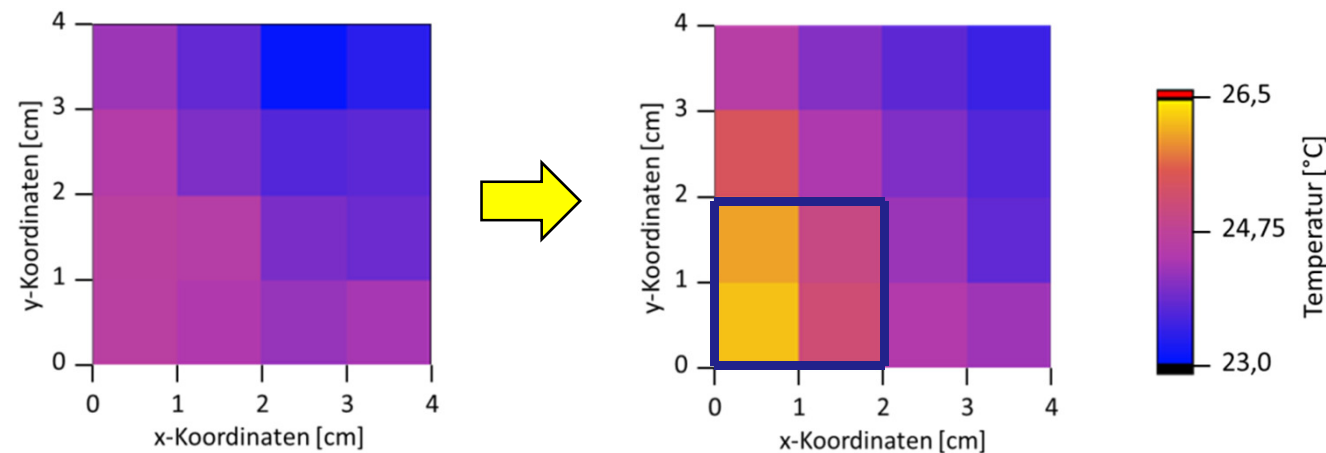


Temperatursensormatte

Funktionsmuster

Aufbau und Eigenschaften:

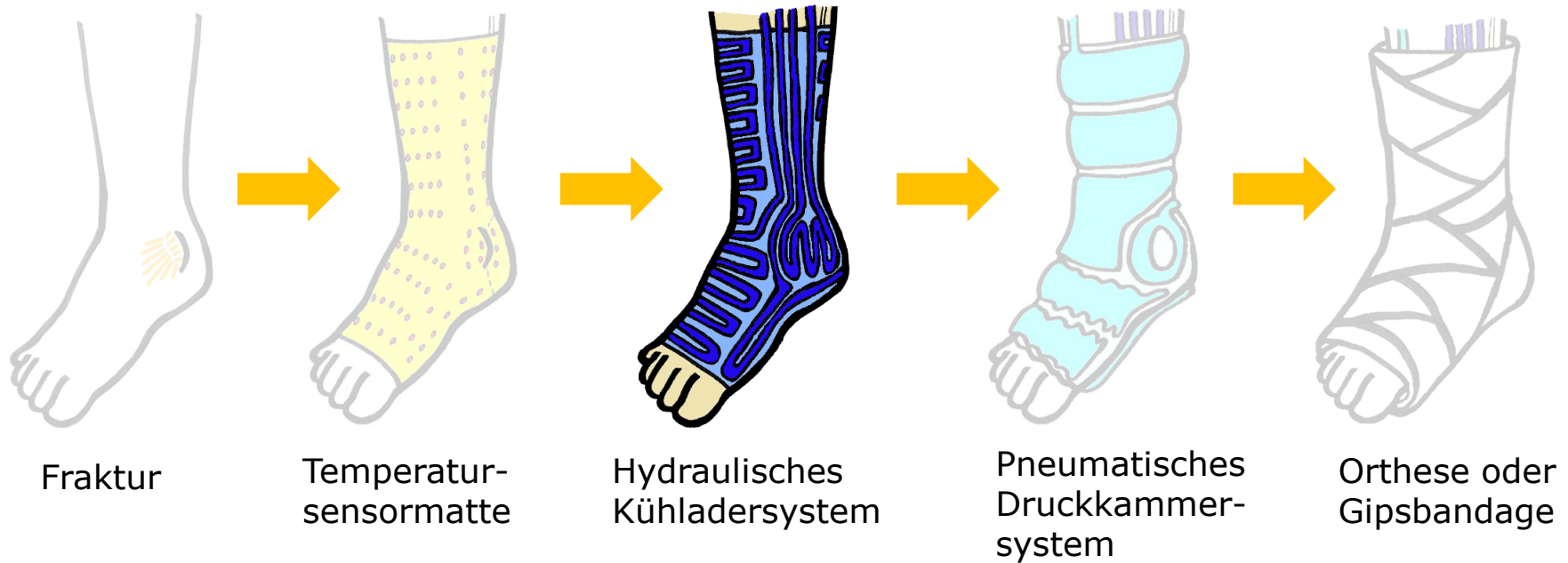
- flexible Polyimid-Leiterplatte
- integrierte NTC-Thermistoren der Bauform 0603
- Messung auf 0,9 K genau, Toleranz $\pm 1 \%$
- Messung der Hauttemperatur im Frakturbereich



Anwendung von hauterwärmender Salbe im markierten Quadranten

Kühl-Kompressions-Manschette

Aufbau



Hydraulisches Kühladersystem

Funktionsmuster

Kühlmatte:

- Ausbildung als „Schlauchfolie“
- PVC-Freiform, mäanderförmig verschweißt

Problem: Druck auf Kühladern

Idee: Kunststoff-Kugeln in Kühladern

- Volumenstromermittlung mit Hilfe des Gesetzes von Hagen-Poiseuille

$$\dot{V} = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta p}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

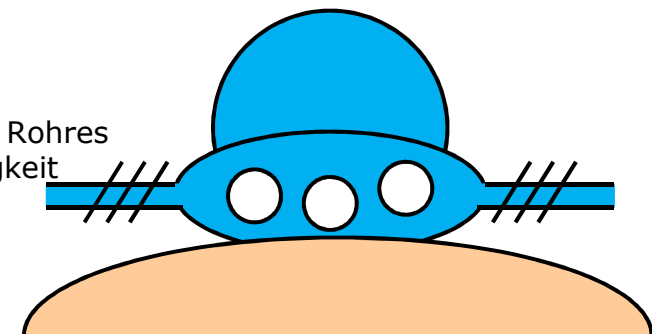
$\dot{V}$... Volumenstrom
 r ... Innenradius des Rohrs
 Δp ... Druckdifferenz zwischen Anfang und Ende des Rohrs
 η ... Dynamische Viskosität der strömenden Flüssigkeit
 l ... Länge des Rohrs

Problem:

- PVC-Mäander: Volumenstrom sinkt um 52 %
- andere Möglichkeit zur Formstabilität der Kühladern notwendig



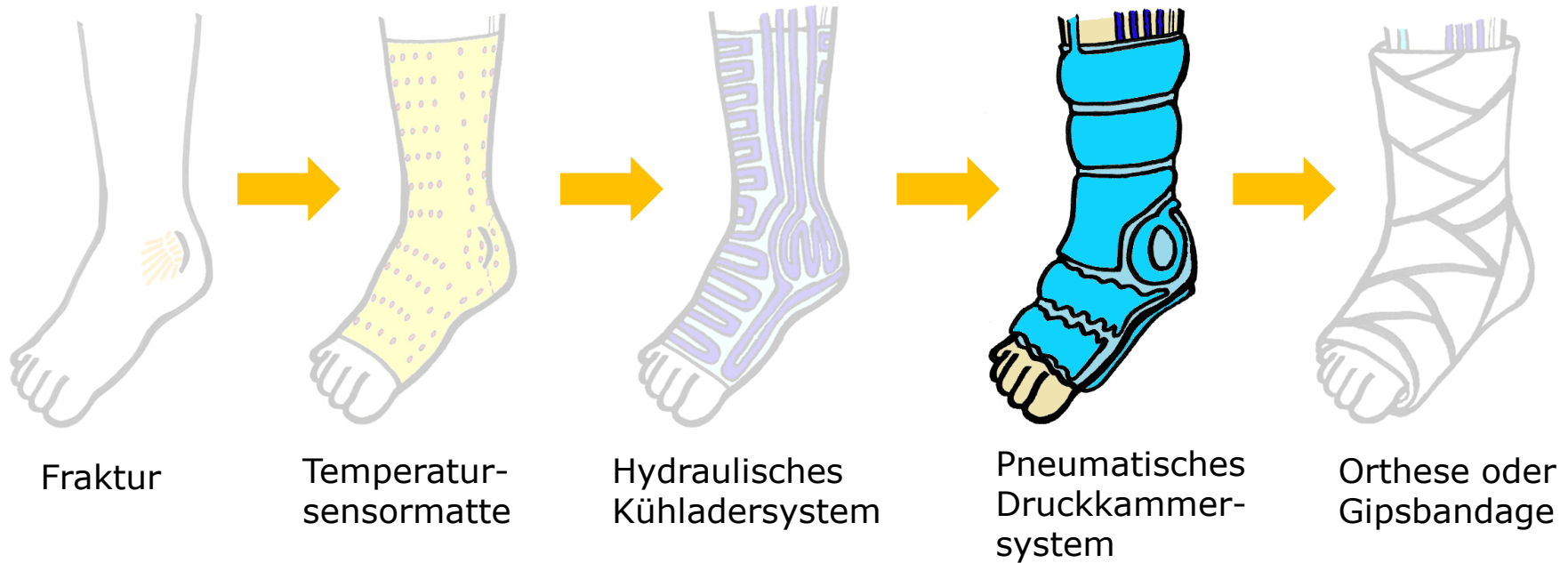
Aluminiumform und PVC-Mäander gefüllt mit Kunststoffkugeln



effektive Kühlfläche bei verschiedenen Schlauchformen

Kühl-Kompressions-Manschette

Aufbau

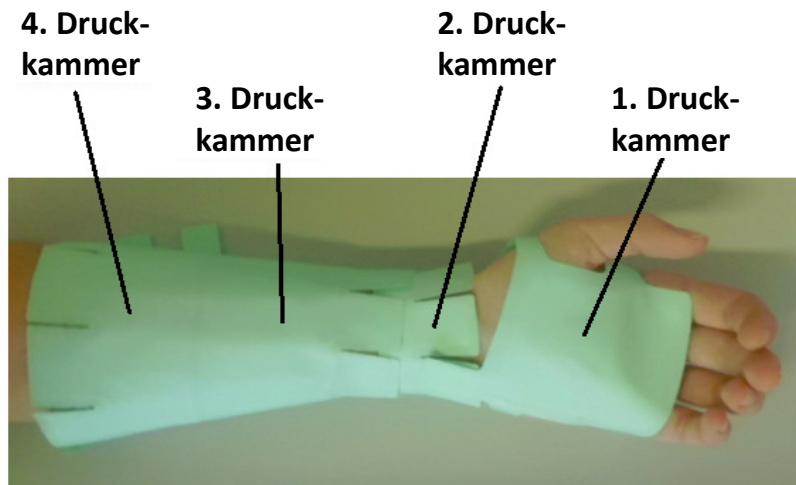


Pneumatisches Druckkammersystem

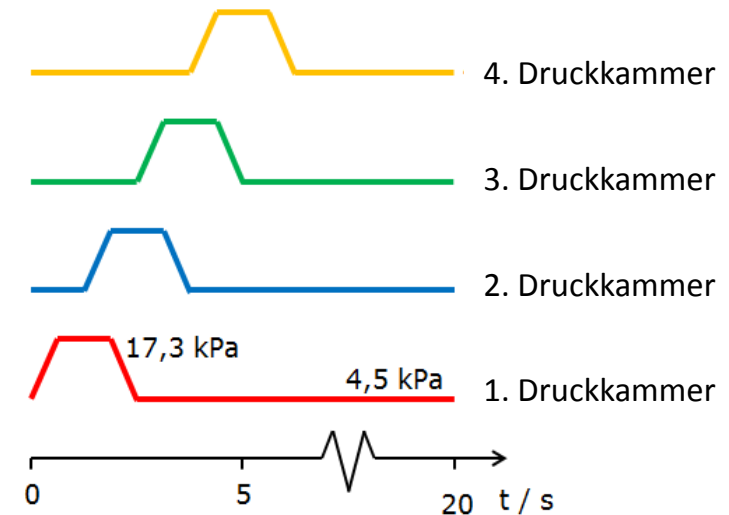
Funktionsmuster

Aufbau:

- Einzelkammern mit unterschiedlichen Web-Strukturen
- Anpassung an die menschliche Anatomie und Bewegungen



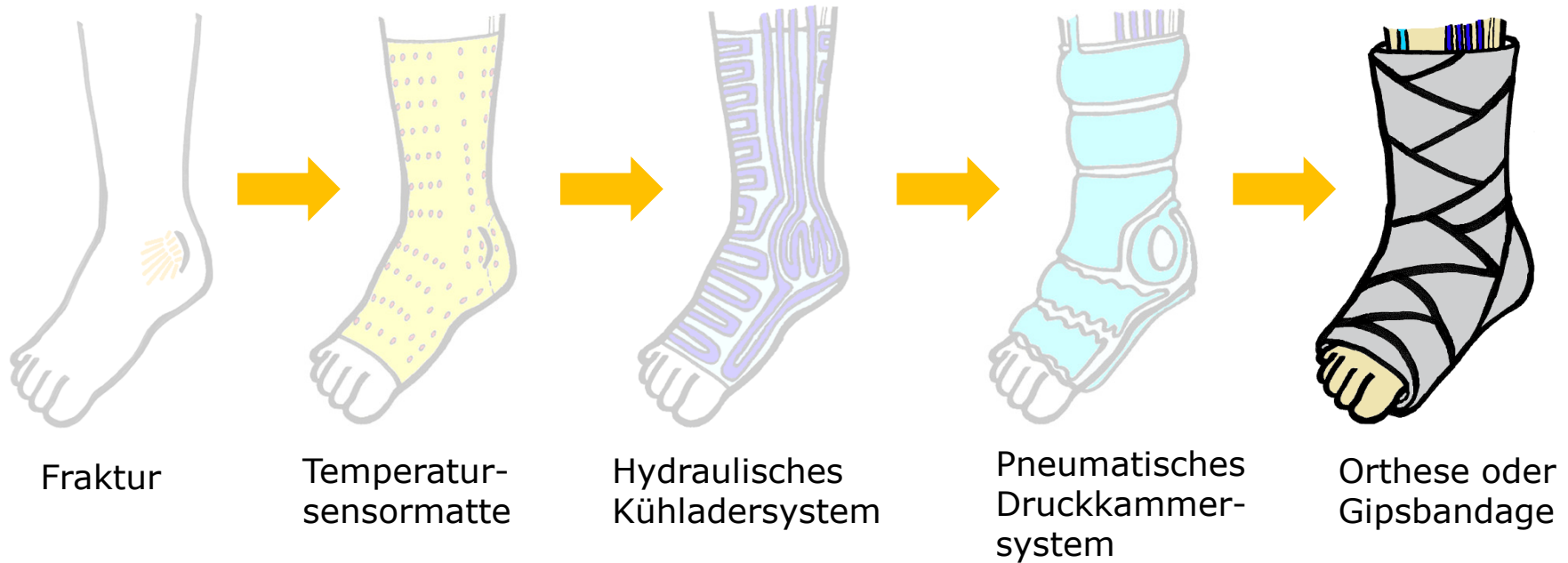
Druckkammern angepasst an die Anatomie des menschlichen Handgelenks



Zeitversetzte Druckimpulse von vier Druckkammern

Kühl-Kompressions-Manschette

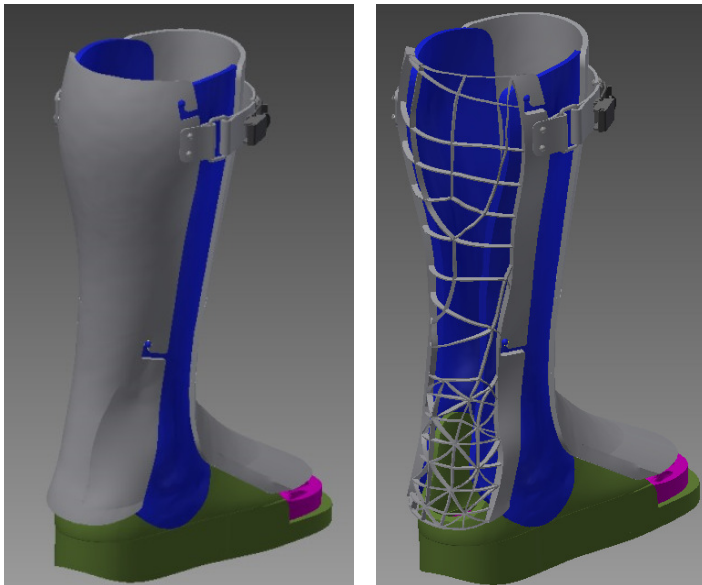
Aufbau



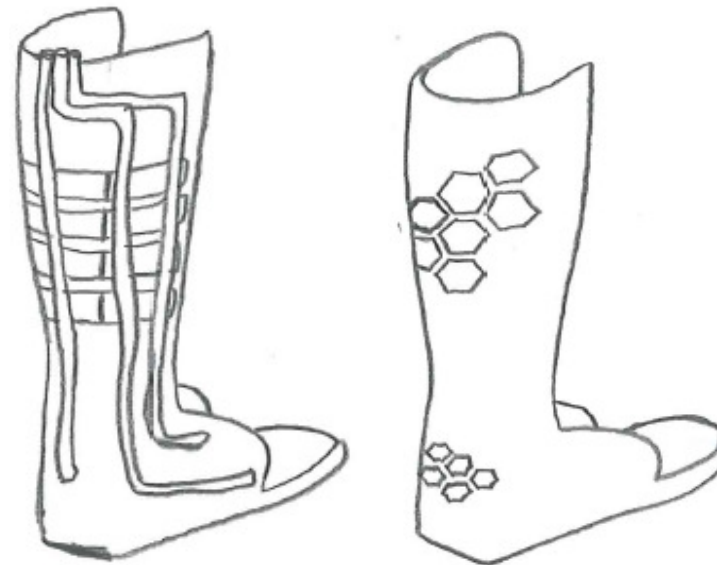
Orthese

Musterkonstruktion

- integrierte pneumatische und hydraulische Zuführungsleitungen
- Einrasten der Manschette, Justieren am Patienten nicht nötig ist
- Orthesenschaft mit Aussparungen zur Materialersparnis und zur besseren Durchlüftung

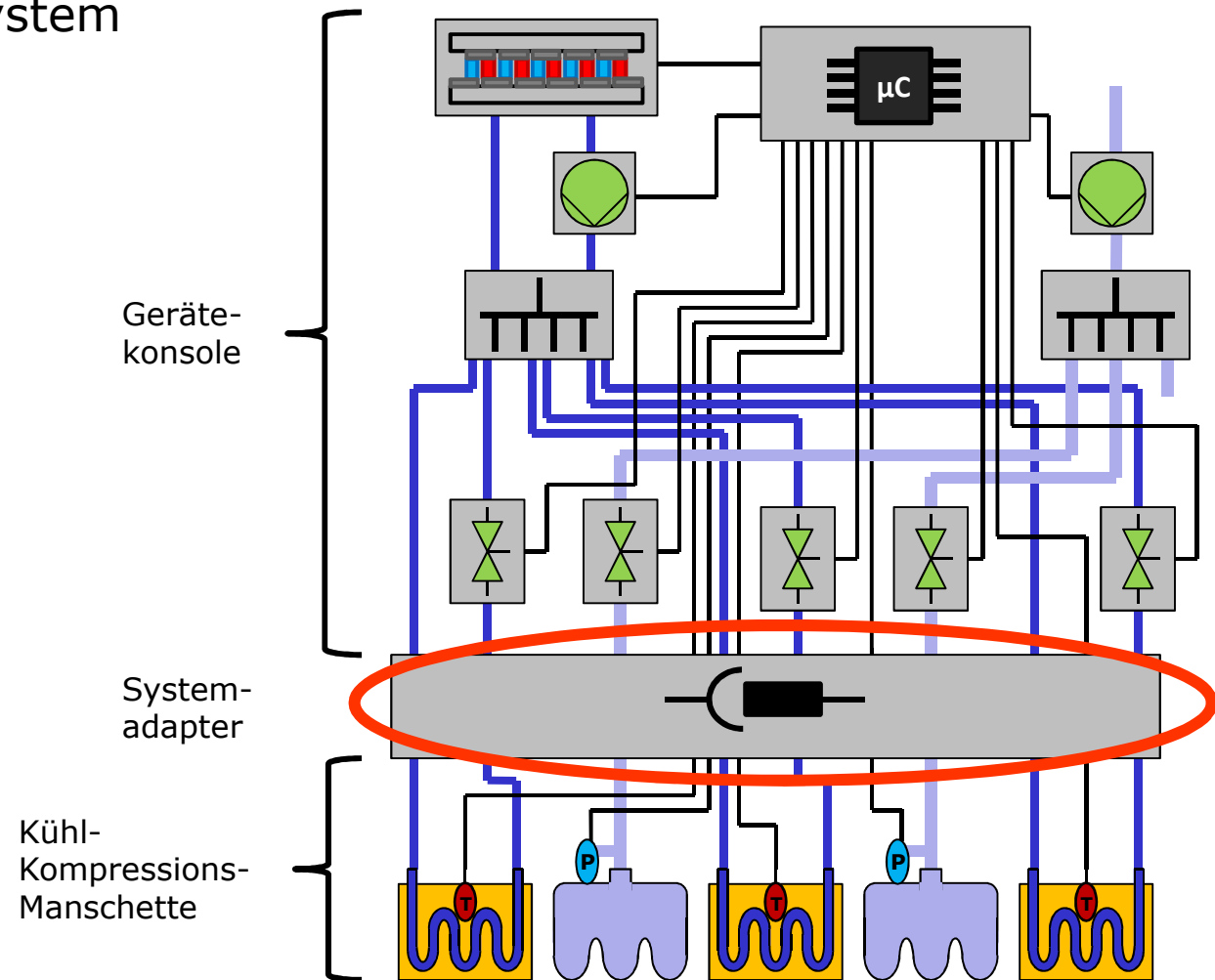


Orthesenschaft mit und ohne Aussparungen



Orthesenschaft mit angedeuteter Skelettform
bzw. Wabenform

Kühl-Kompressions-System



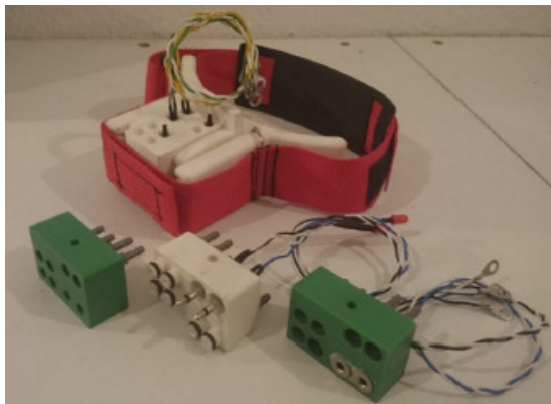
Systemadapter

Funktionsmuster

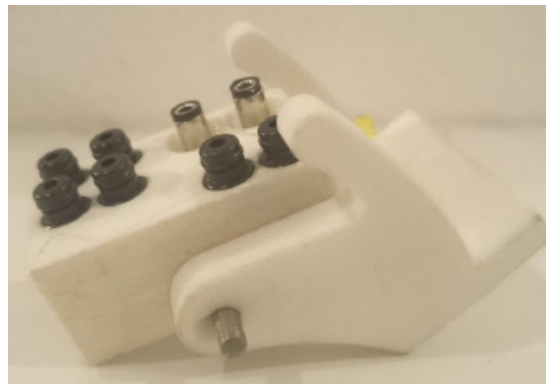
Forderungen:

- dichtes Verschließen mehrerer Luft- und Kühlwasserzuführungen
- sichere elektrische Weiterleitung der Sensorsignale
- schneller, kraftoptimierter Verbindungsmechanismus

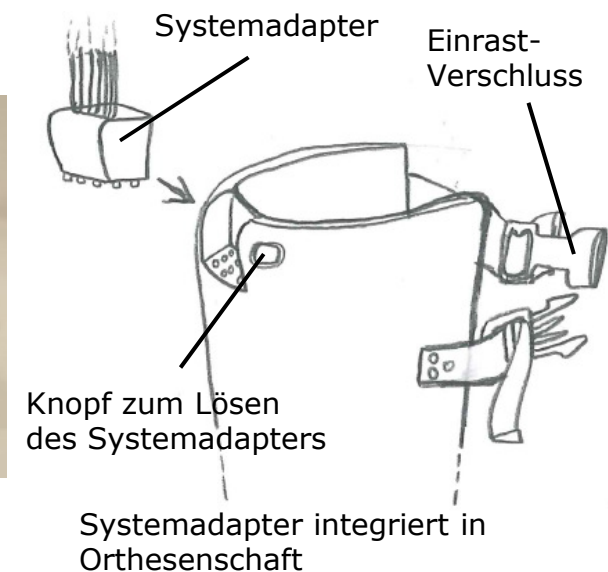
Ergebnis: Funktionsmuster



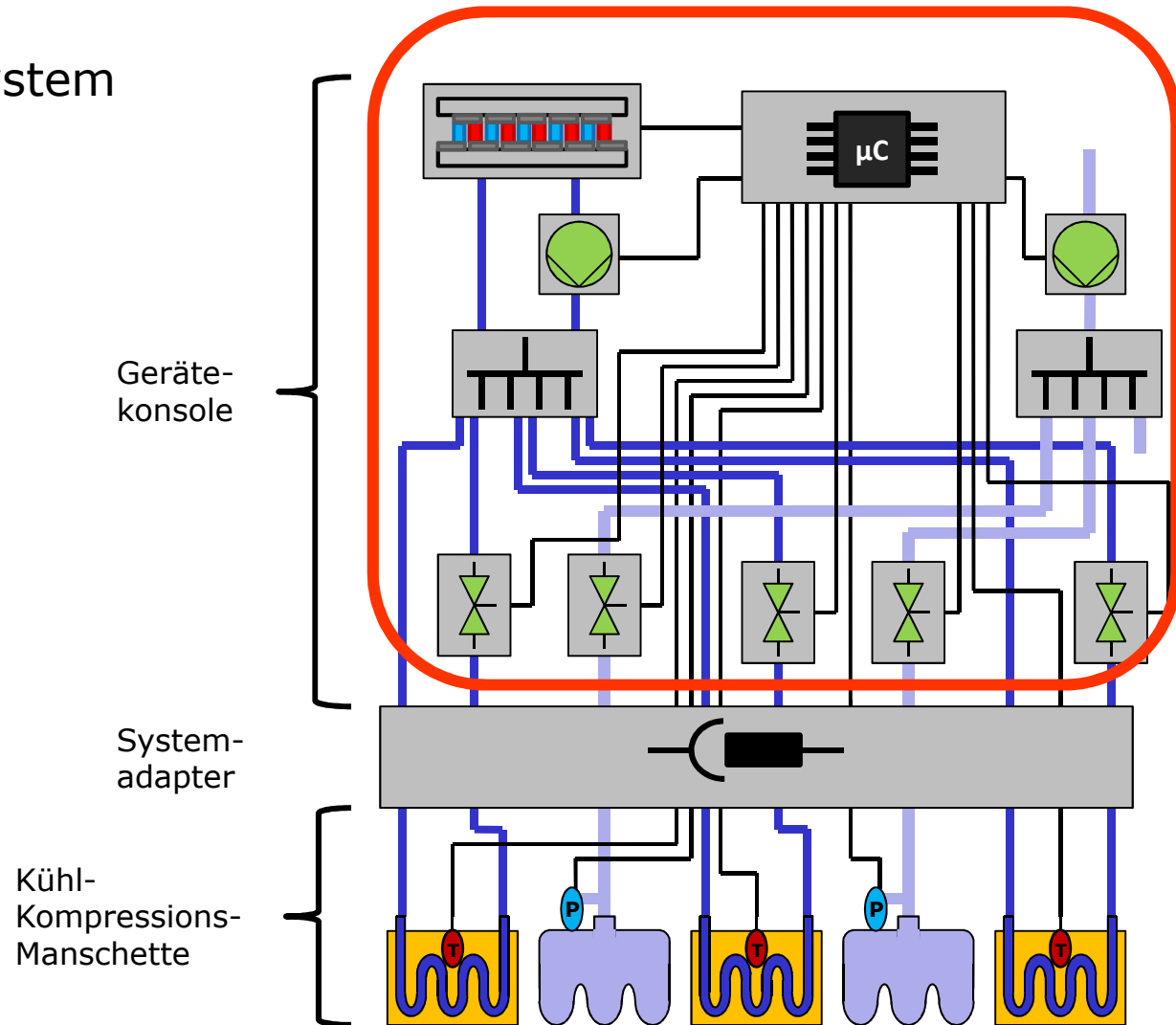
Systemadapter mit verschiedenen Test-Funktionsmustern



Buchsen-Seite des Adapters mit Sicherungsbügel



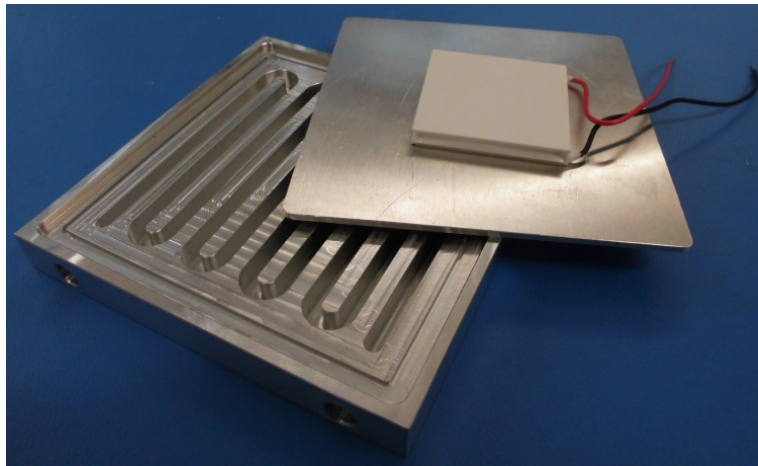
Kühl-Kompressions-System



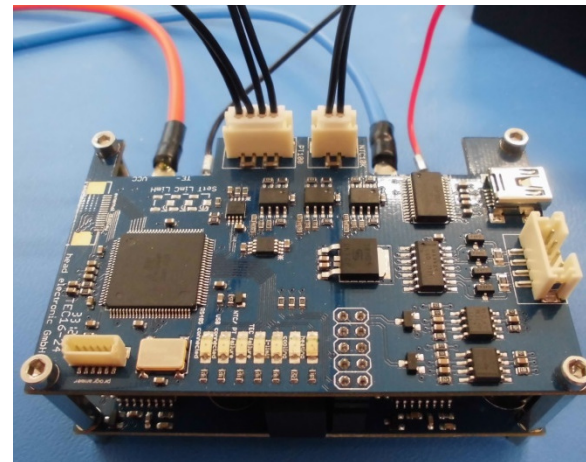
Kühlungserzeugung

Wärmesenke und Wärmetauscher

- Kühlung erfolgt durch stromgesteuerte Ansteuerung von Peltier-Elementen
- Wärmetauscher für Einkoppeln in fluidisches Medium „Wasser“
- Hydraulikpumpe und Ventile für gesteuerten Transport
- feste Einkopplung der gewünschten Temperatur an der Frakturstelle



Peltier-Element und Wärmetauscher
mit Mäanderstruktur



TEC16-24 Modul zur Ansteuerung
von Peltier-Elementen

Kühlungserzeugung

Peltier-Element

Modellierung des Peltier-Elements anhand der drei parallel stattfindenden, physikalischen Effekte:

- Peltier-Effekt:

$$\dot{Q}_{Peltier}(T) = S_M(T) \cdot \Delta T_{TEC} \cdot I_{TEC}$$

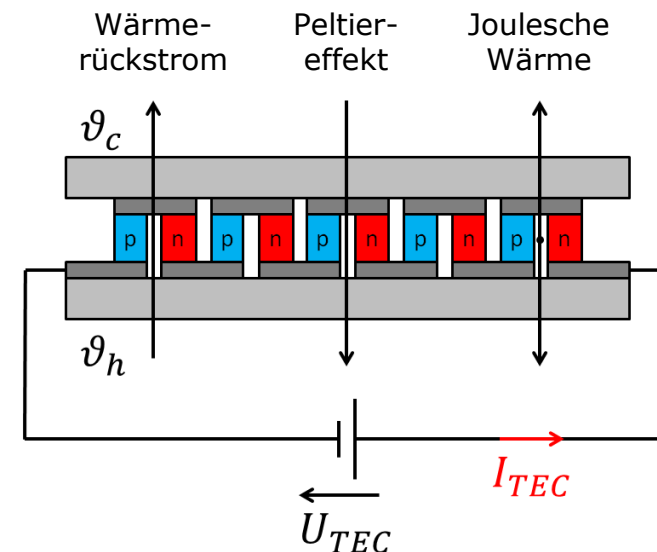
- Joulesche Wärme (Stromwärmeverlust):

$$\dot{Q}_h(T) = \dot{Q}_c(T) = \frac{1}{2} \cdot R_M(T) \cdot I_{TEC}^2$$

- Wärmerückstrom:

$$\dot{Q}_{rück}(T) = K_M(T) \cdot \Delta T_{TEC}$$

Ermitteln der Parameter S_M , R_M und K_M anhand des empirischen Modells nach FerroTec

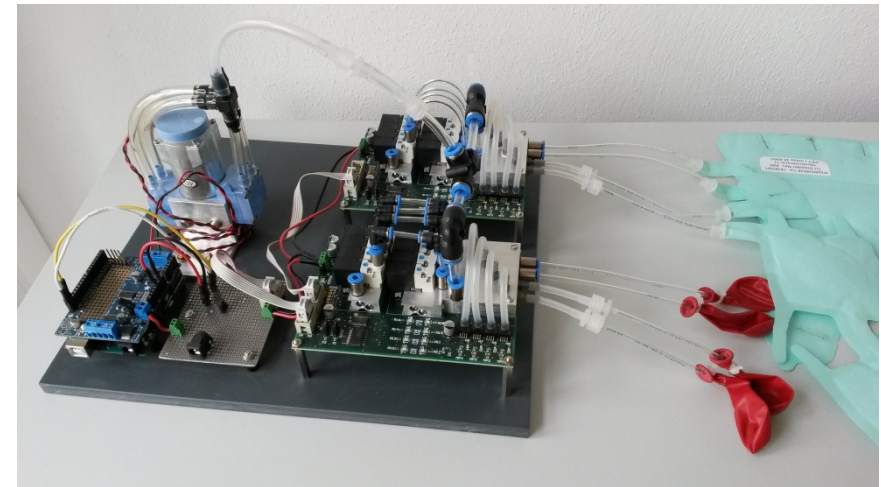


S_M ... Seebeck-Koeffizient
 ΔT_{TEC} ... Temperaturdifferenz der Keramikseiten
 R_M ... Widerstand des Peltier-Elements
 I_{TEC} ... Strom am Peltier-Element
 K_M ... Wärmeleitfähigkeit

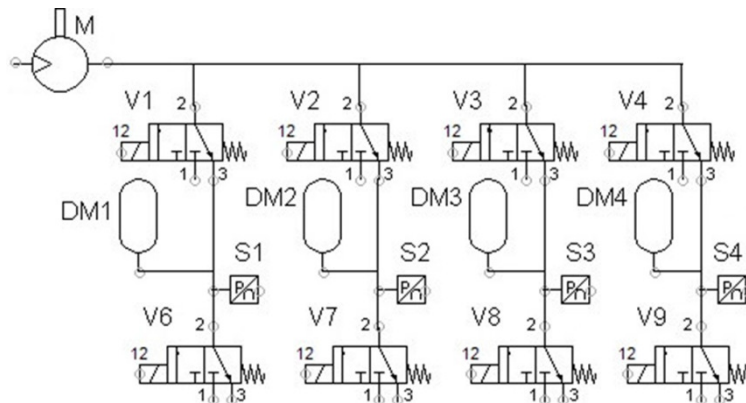
Druckerzeugung

Pneumatische Ansteuerung

- Pneumatikpumpe für Luft
- zwei Ventilinseln zum Be- und Entlüften der Druckkammern
- Drucksensoren mit Auflösung von 1,22 Pa
- modularer Aufbau mit Ansteuermöglichkeit von je 4 Druckkammern pro Modul
- Ansteuerung über I²C-Bus

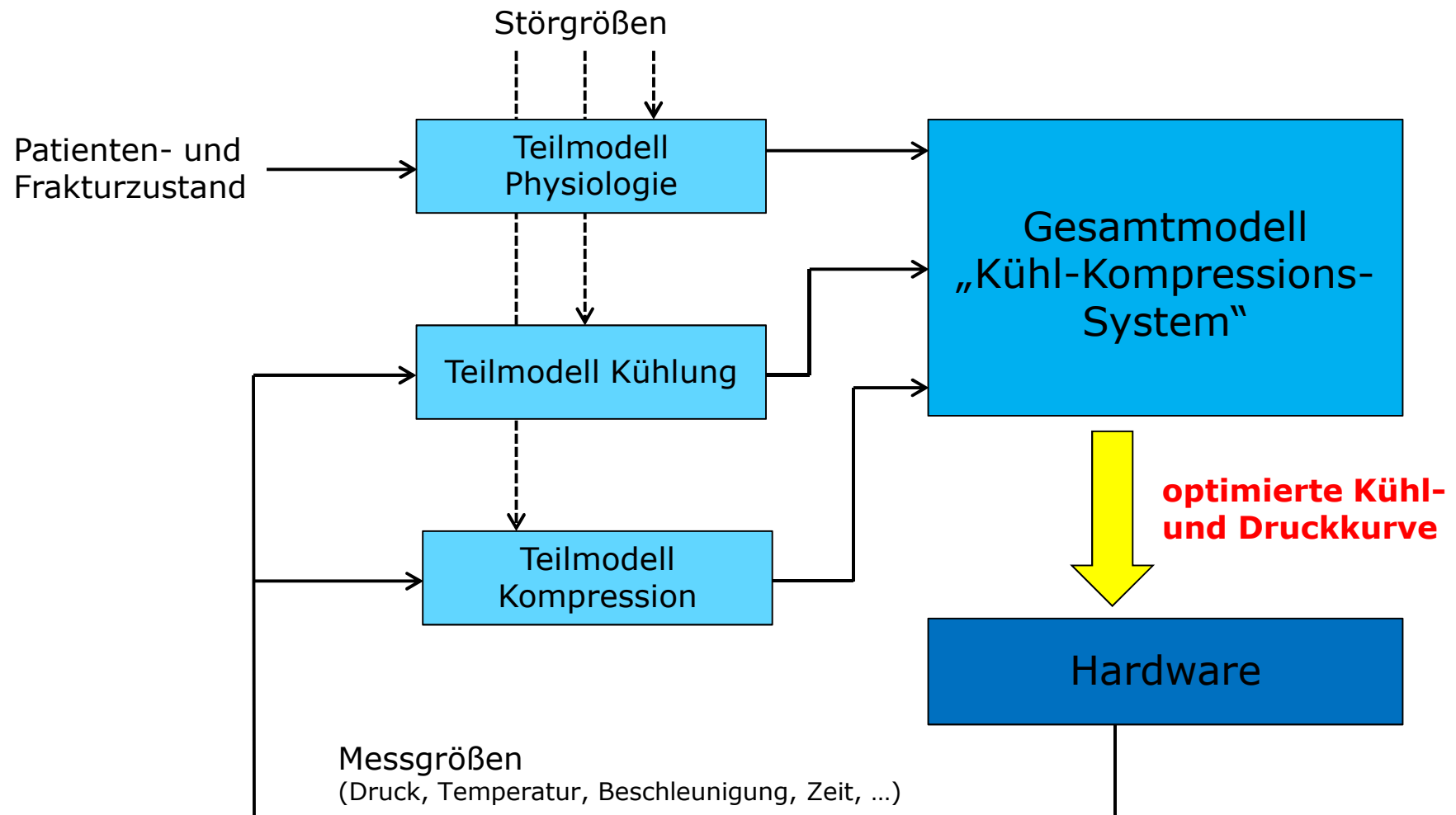


Kompressionssystem bestehend aus zwei Modulen



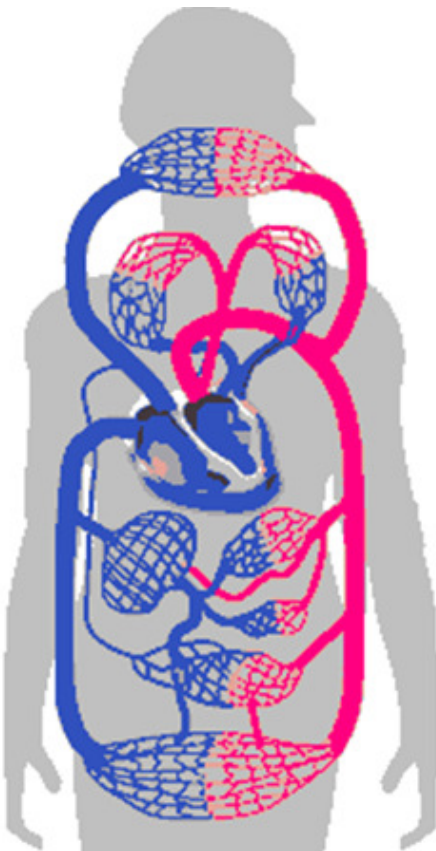
Pneumatik-Schaltplan zur Ansteuerung von vier Druckkammern

Modellierung der Regelung

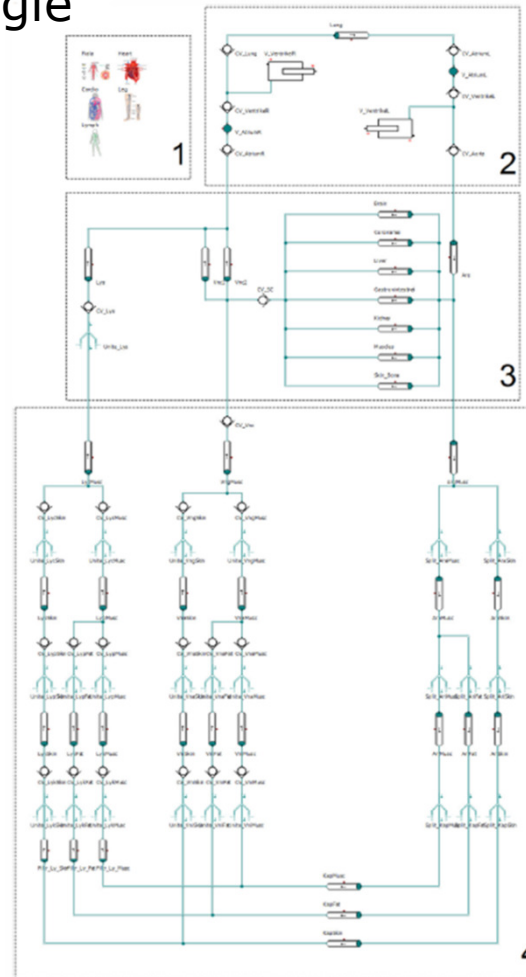


Modellierung der Physiologie

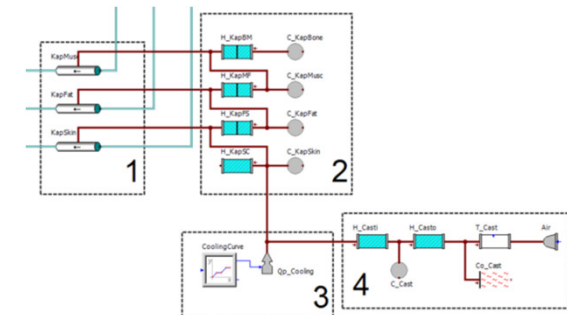
SimulationX-Modellierung



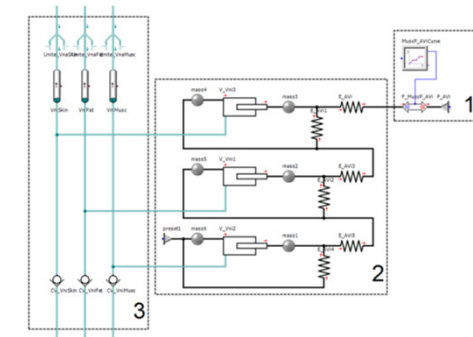
Kardiovaskuläres System
als visuelle Struktur



Kardiovaskuläres System
in der Simulation



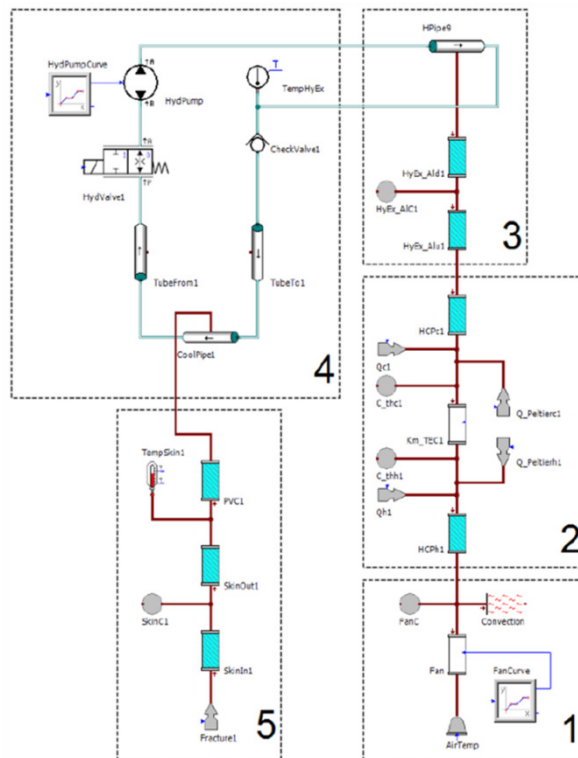
Wärmeleitung in Hautschichten



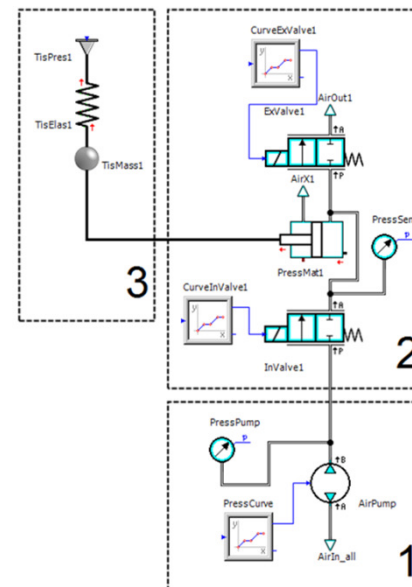
Druck durch Muskelpumpen
in Hautschichten

Modellierung des Kühl-Kompressions-Systems

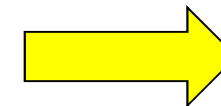
SimulationX-Modellierung



Kühlsystem (vereinfacht auf eine
Kühlader)



Kompressionssystem
(vereinfacht auf eine
Druckkammer)



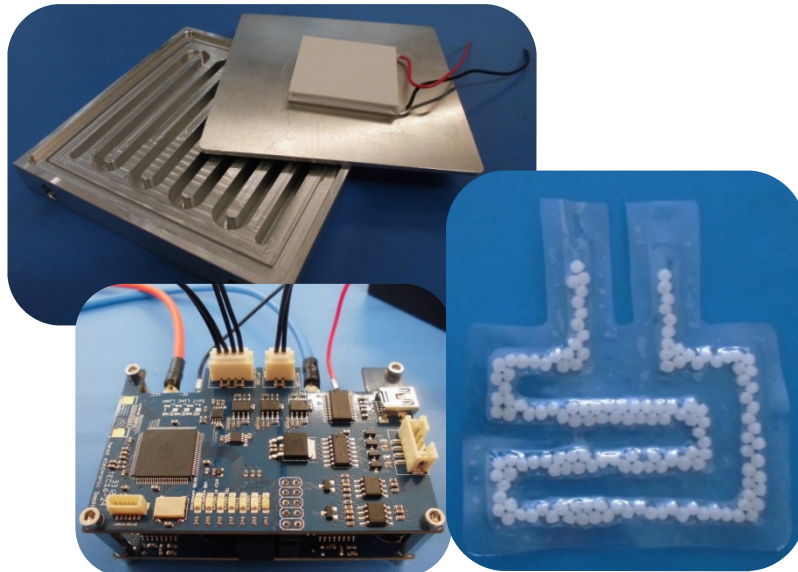
optimierte Kühl-
und Druckkurve
durch Einsatz der
Software OptiY

Zusammenfassung

Konzept: Intelligente Orthese

Verhindern von
Schwellungsbildung

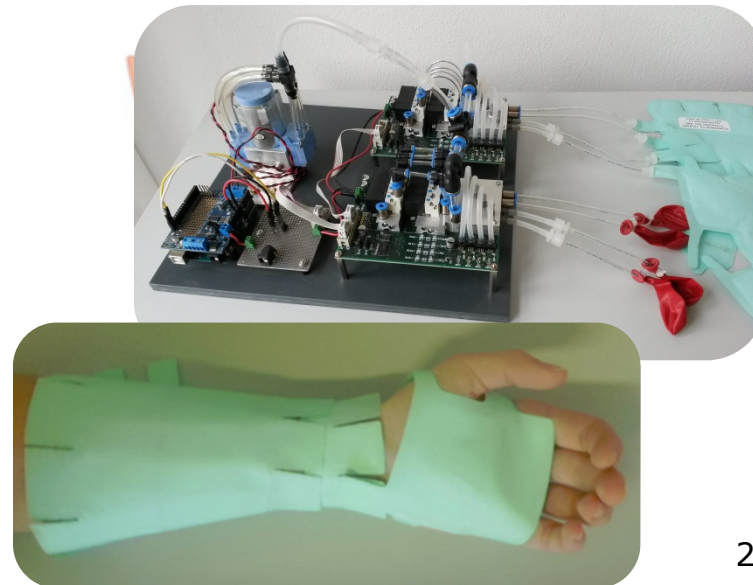
geregelter Einfluss von
Kälte auf die Hautoberfläche



umgesetzte
Möglichkeiten

Verringern von
ausgebildeter
Schwellung

gepulste Kompression auf
Venen und Lymphgefäße



Zusammenfassung

- Entwicklung eines von Mediziner*innen benötigten intelligenten Kühl-Kompressions-Systems zum Schwellungsabbau an Frakturen
- technische Umsetzbarkeit aufgezeigt (Funktionsmuster)

Ausblick

- Überführung in ein Produkt für den Einsatz im klinischen Alltag durch MEDITECH Sachsen GmbH

Dankeschön!

- finanzielle Unterstützung: AiF Projekt GmbH
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
- Kooperationspartner: MEDITECH Sachsen GmbH
- medizinisches Feedback: UniversitätsCentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie
vom Universitätsklinikum Carl Gustav Carus
- fleißige Bearbeiter: Studenten am Ifte

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages