

Verbesserung des thermischen Komforts von Winter-Radschuhen

Beispiel eines industriellen FuE-Ansatzes

Frank I. Michel¹, Sarah Campos¹, Wouter Remmerie², Fredrik Fuhrmann³

¹i-team, VAUDE Sport GmbH & Co. KG

²AirShaper, Belgium

³Footwear, VAUDE Sport GmbH & Co. KG



FROST SCHUTZ



Jedes Winter-Training steht und fällt mit dem Kälteschutz am Fuß. Die richtigen Winter-Radschuhe halten Kälte und Nässe lange fern – und erlauben ein effektives Training. 13 Modelle im Test.

<https://www.radsport-rennrad.de/allgemein/rennrad-1-2-2019-alle-inhalte-der-aktuellen-ausgabe/>

WINTERSCHUHE FÜR RADFAHRER: KÄLTESCHUTZ, WASSERSCHUTZ, QUALITÄT, PREIS

Winterschuhe: Für frostige Freude

Die Füße gehören im Winter zu den empfindlichsten Körperteilen. Weil sie sich im Radschuh kaum bewegen, leiden sie besonders unter der frostigen Kälte. Abhilfe schaffen schöne warme Winterschuhe für Radfahrer. Ein paar warme Gedanken helfen, die richtigen Schuhe zu finden.

<https://www.radfahren.de/test-teile/winterschuhe-radfahrer/>

Test Mountainbike-Winterschuhe

Wie warm sind MTB-Winterschuhe? 6 Modelle im Test

Jörg Spaniol am 05.10.2018

Wenn der Körper mit der Kälte kämpft, dreht er zuerst die Heizung in Händen und Füßen runter. Wir haben sechs Paar MTB-Winterschuhe zwischen 150 und 250 Euro bei Sauwetter und im Labor getestet.

<https://www.bike-magazin.de/bekleidung/schuhe/test-mountainbike-winterschuhe/a38508.html>

“Thermische Komfort – Radfahren”

- Kanadische „Pendlerstudie“
- Kaltes Wetter, Wind und Niederschlag verringern die Motivation, morgens mit dem Rad zur Arbeit zu pendeln

Effect	P	Odds Ratio Point Estimate
Temperature (°F)	<0.001	1.03
Wind speed (mph)	<0.001	0.95
Precipitation (no vs. yes)	<0.001	2.65
Snow (inches)	0.01	0.90
Daylight (hours)	ns	1.00
Distance (miles)	<0.001	0.92
Age (years)	0.01	1.02
Gender (men vs. women)	<0.001	1.91

Sears et al. (2012). To bike or not to bike: Seasonal factors for bicycle commuting. *Transp Res Rec* 2314(1), 105-111

“Thermische Komfort – Radschuh”

- Keine themenspezifische Literatur → nur Ski-, Wander-, Sicherheitsschuh
- Skischuh: Komfortwahrnehmung wird stark durch kalte Füße und insbesondere durch den Zehenbereich beeinflusst

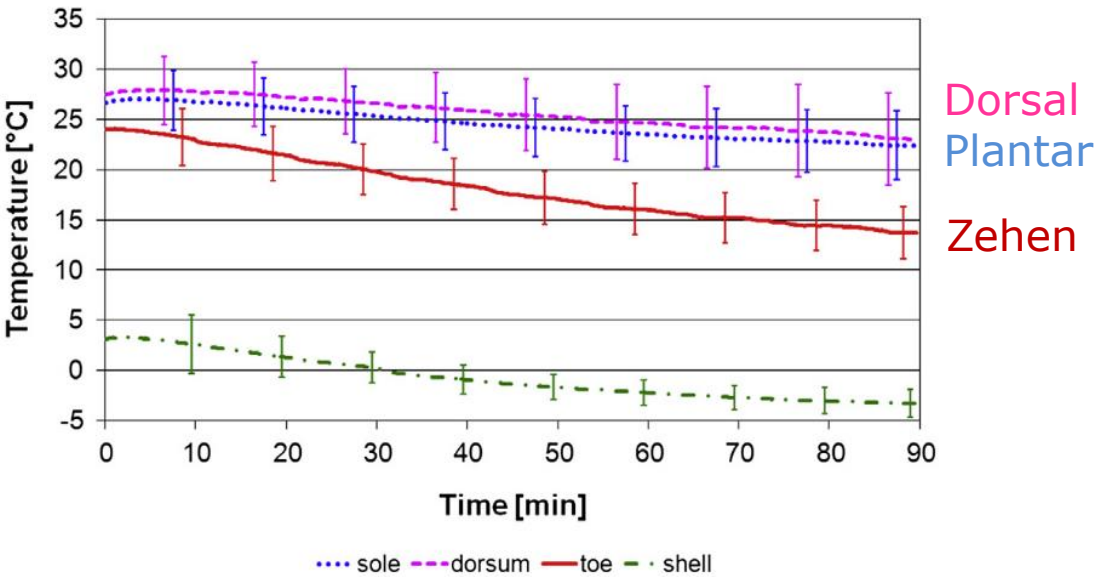


Fig. 1. Mean (±SD) foot temperature of the subjects during exposure to –20 °C in the climate chamber (for clarity SD are given at 7, 8, 9, 10 min).

Hofer et al. (2014). Microclimate in ski boots – Temperature, relative humidity, and water absorption. *Applied Ergonomics*, 45(3), 515-520.

Ziel des FuE-Projektes

- Optimierung eines Winter-Radschuh hinsichtlich seiner Isolationseigenschaften bei Temperaturen um den Gefrierpunkt unter besonderer Berücksichtigung des Fahrtwinds

Projektschritte/-vorgehen

1. Literaturanalyse: Fuß-Pedal-Winkel
2. Analyse zur numerischen Strömungsmechanik (CFD) für drei verschiedene Fuß-Pedal-Stellungen
3. Wissensimplementierung & Prototypenbau
4. Konzeptevaluierung mittels Thermografie und subjektiver Komfortevaluierung

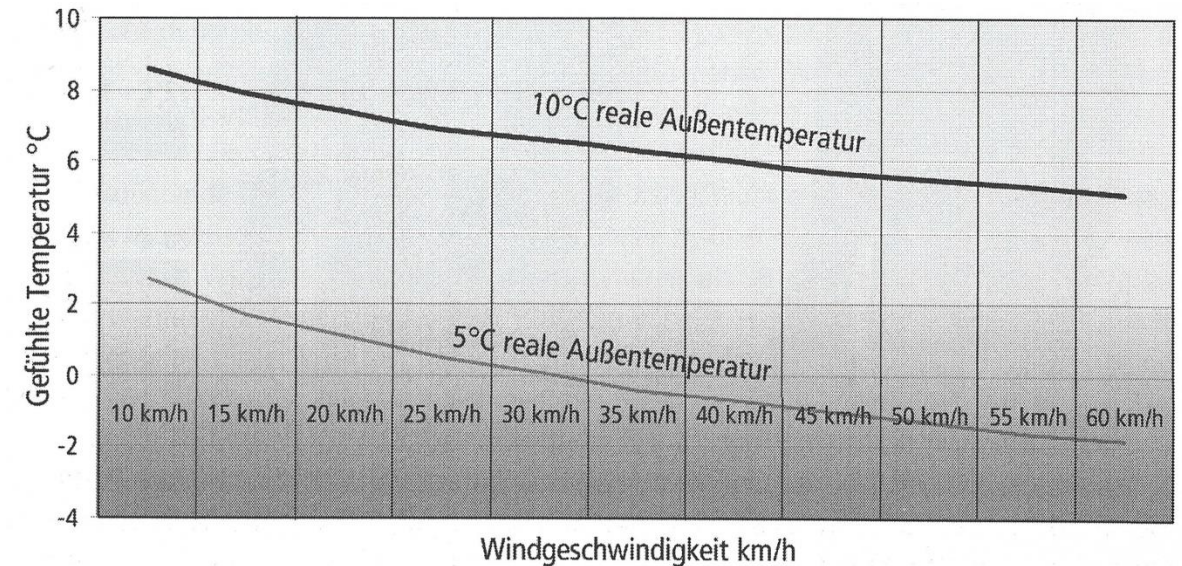
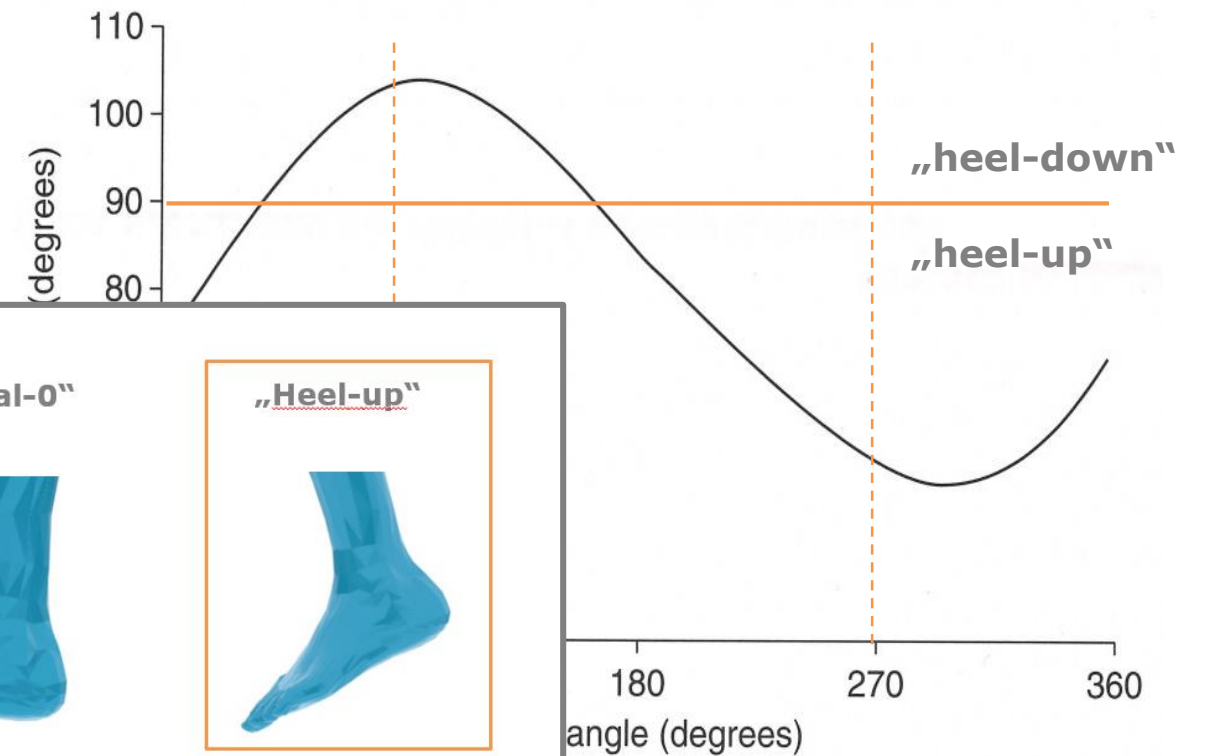
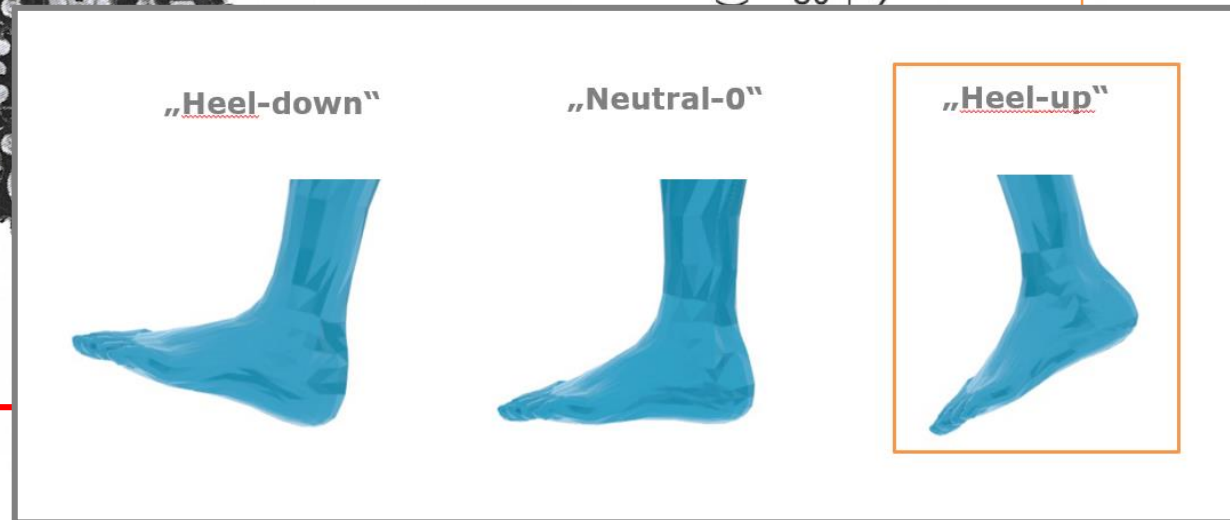
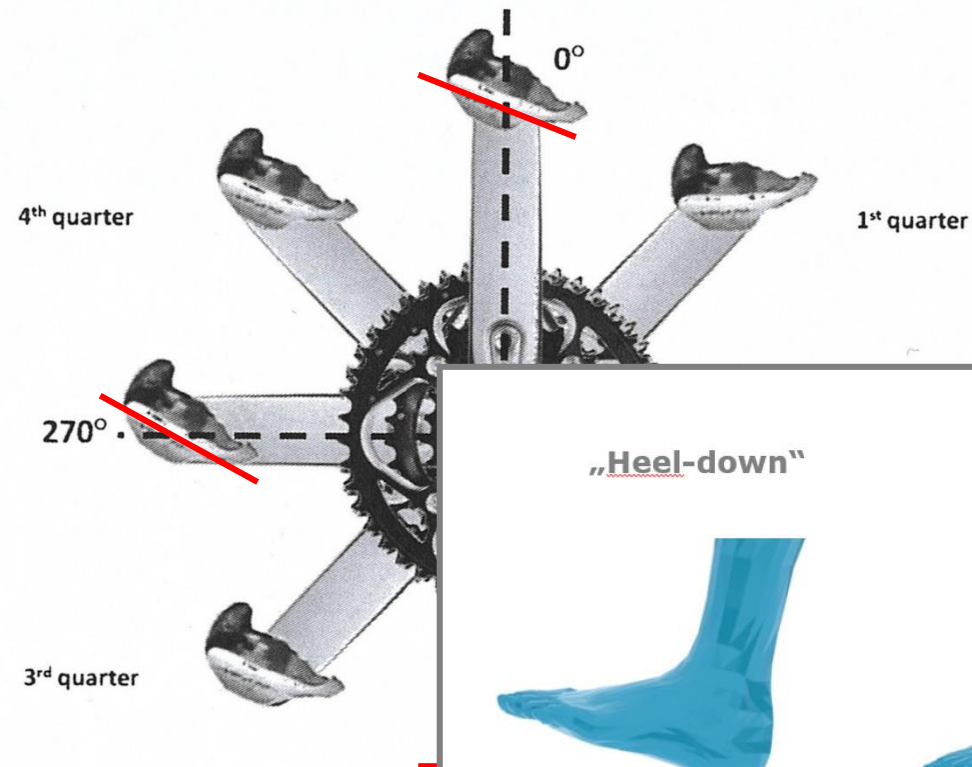


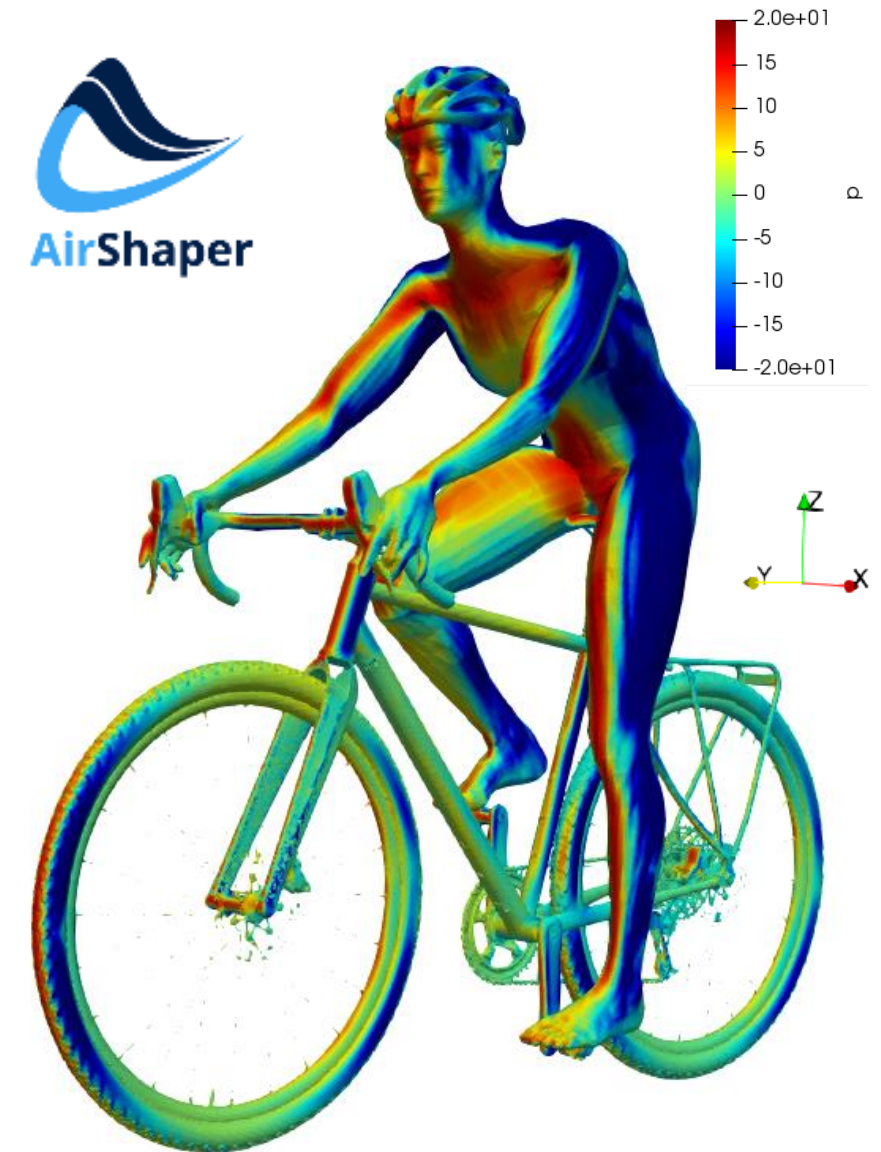
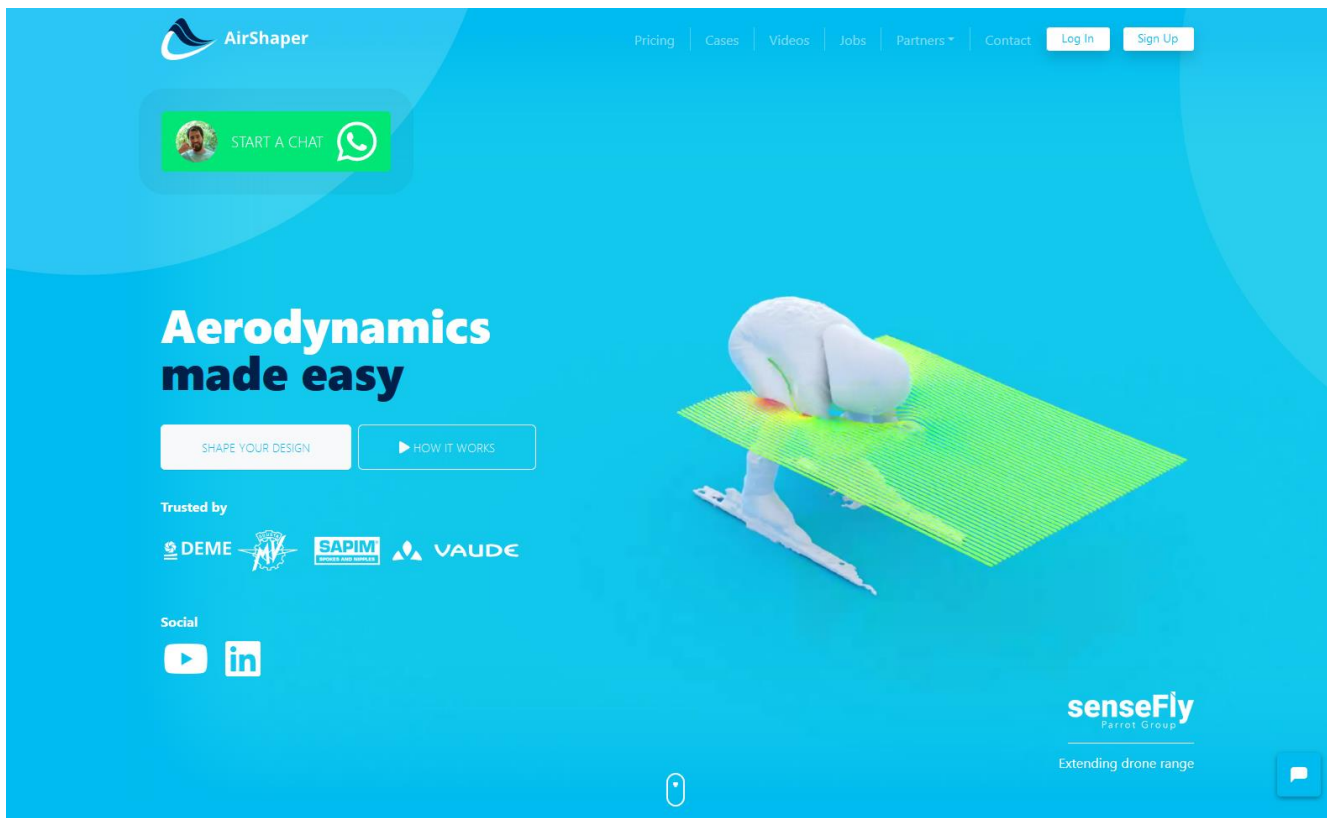
Abbildung 34: Windchill Effekt: Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die gefühlte Temperatur bei 10°C und 5°C Außentemperatur, Tabellenwerte: Wikipedia (2010b)

Qualitativ bestimmte Fuß-Pedal-Winkel

Quantitativ bestimmte Fuß-Pedal-Winkel



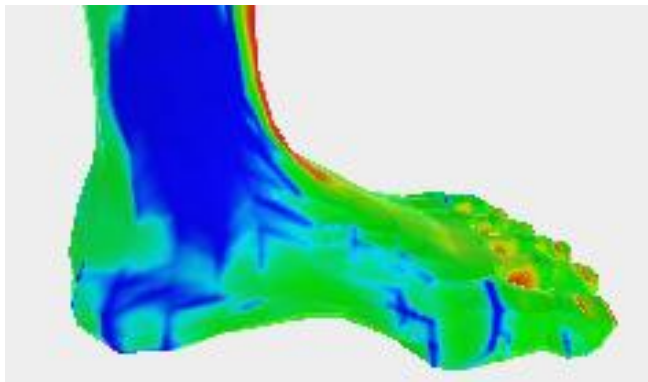
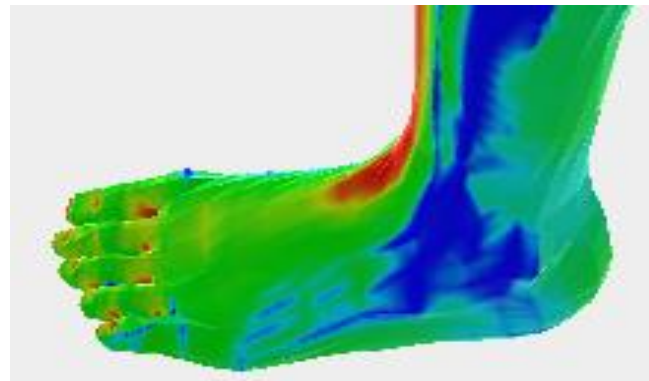
- Zusammenarbeit mit kommerziellen CFD-Partner
- „Upload“ der 3D-CAD-Modelle über AirShaper-Internetseite
- „Deliveries“: Online-Simulationen, PDF-Bericht (+ Rohdaten für weitere Bearbeitung in ParaView oder MeshLab)



Analyse - Oberflächendruck

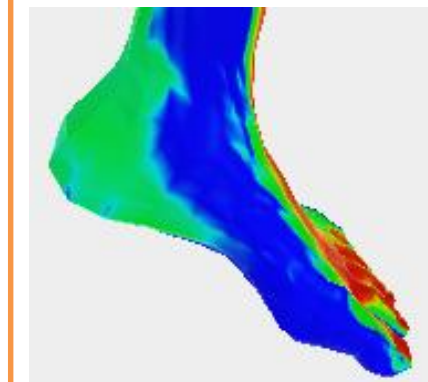
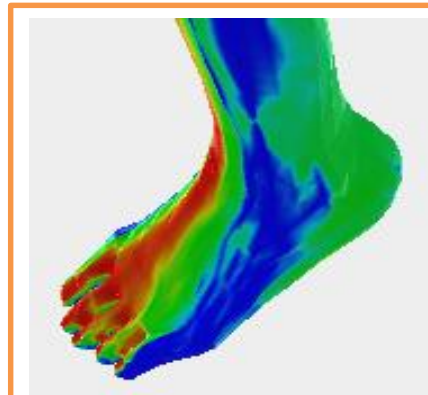
Qualitative Schlussfolgerungen aus den CFD-Daten

- Hoher Oberflächendruck insbesondere am Zehenbereich und Fussrist
- Turbulenzenentwicklung und hohe Strömungsgeschwindigkeiten am plantaren Fussbereich in „heel-up“-Position



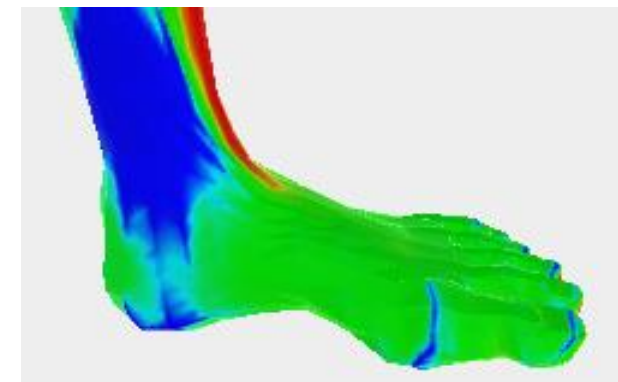
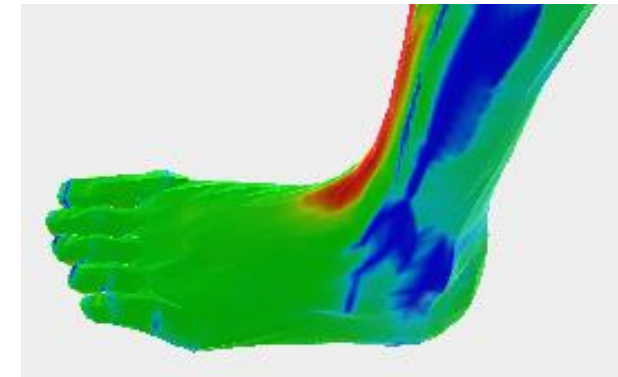
„Neutral-0“

Pedal angle: 0°
Ankle angle: 90°
Position: 180°



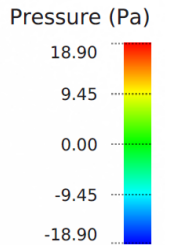
„Heel-up“

Pedal angle: $+28^\circ$
Ankle angle: 99°
Position: 270°



„Heel-down“

Pedal angle: -14°
Ankle angle: 88°
Position: 90°



Anwendung der CFD-Erkenntnisse beim VAUDE MINAKI-Prototype

New vs. Old



SYMPATEX MEMBRANE

More breathable and moisture wicking membrane
vs. CEPLEX membrane

WINTER LINING

Warm and moisture wicking fleece lining
vs. Mesh lining

INSOLE LINING

PES felt + silver foil
vs. PES felt

NEOPRENE FLAP

2mm neoprene insulation
vs. Thin PU fabric

INSULATION

Primaloft gold insulation ECO 200g
vs. Thinsulate 200g

TOE CAP

Additional material layer
vs. PU print

GASKET CONSTRUCTION & SEALED CLEAT WINDOW

No air flow for better insulation layer
vs. Standard construction



• **Probanden**

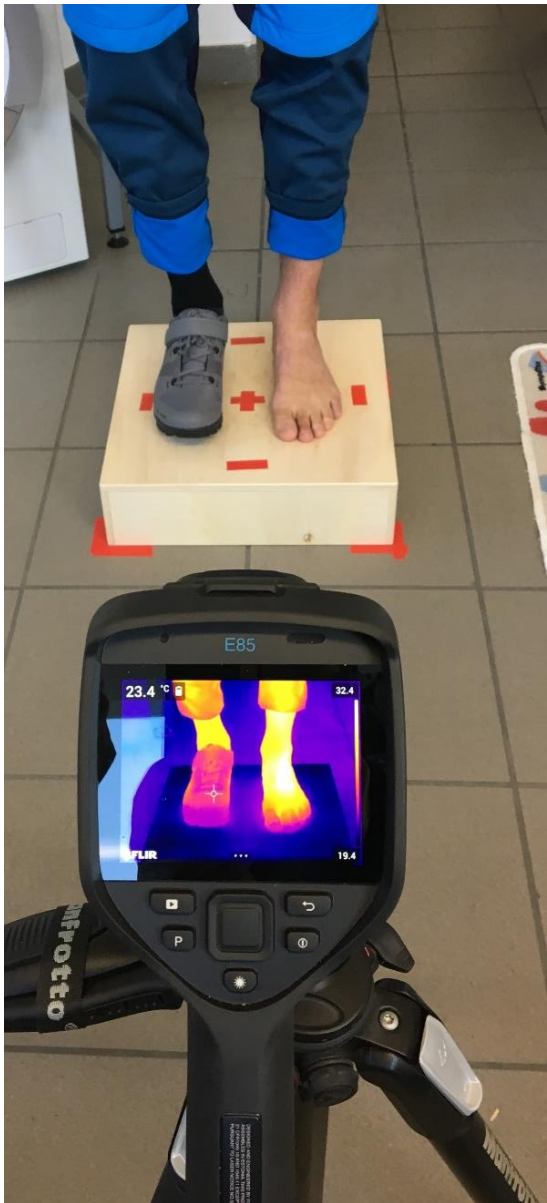
- 4 männliche Radpendler
- Alter: 37 ± 10 Jahre
- Körperhöhe: 176 ± 6 cm
- Körpergewicht: 76 ± 11 kg
- Wöchentlicher „Pendlerumfang“: 45 ± 21 km

• **Testschuhe**

- Minaki Mid II STX (new)
- Minaki Mid CPX (old)
- Shimano MW7
- NorthWave Raptor GTX



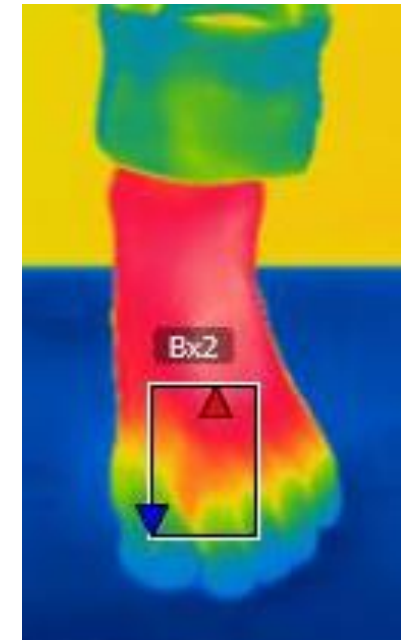
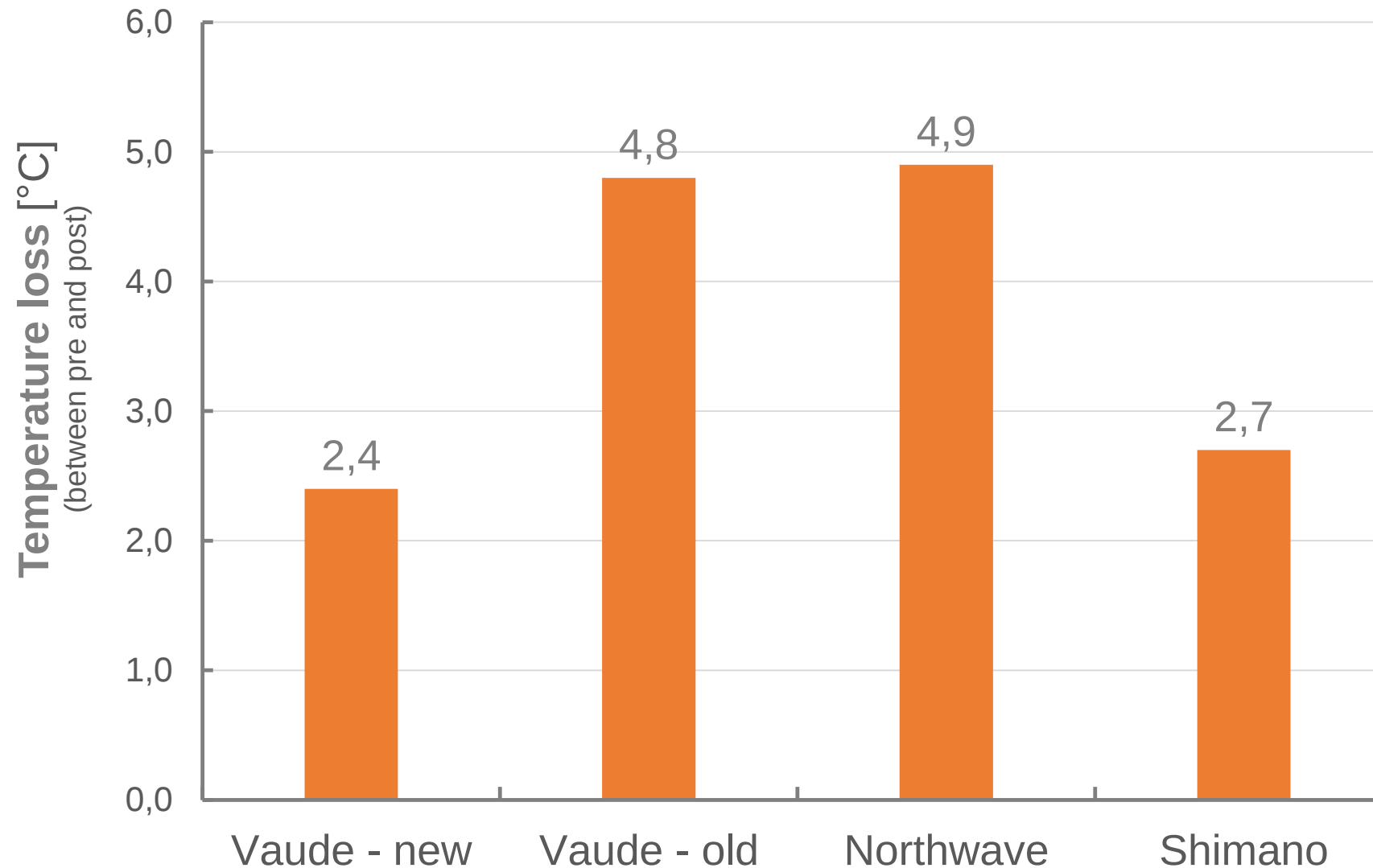
- **Umgebungsklima**
 - Klimakammer: 0°C / ~90% rH
 - Labor: 20°C / ~50% rH
- **Messsystem**
 - FLIR E85
 - 5 Ansichten (dorsal, [plantar, medial, lateral posterior])
- **Belastungsprofil**
 - 30min Radfahren (Taxc cycling trainer; Centurion Crossfire 4000) bei moderater Intensität (120W)
- **Subjektive Wahrnehmung**
 - Temperatur: DIN 7730
 - Feuchtigkeit: DIN 7730
- **Messzeitpunkte**
 - Vor und unmittelbar nach Radbelastung (mit und ohne Schuh)
 - [Jede 5 Minute während der der Radbelastung (mit Schuh)]



Temperatur	3	heiß
	2	warm
	1	etwas warm
	0	neutral
	-1	etwas kühl
	-2	kühl
	-3	kalt

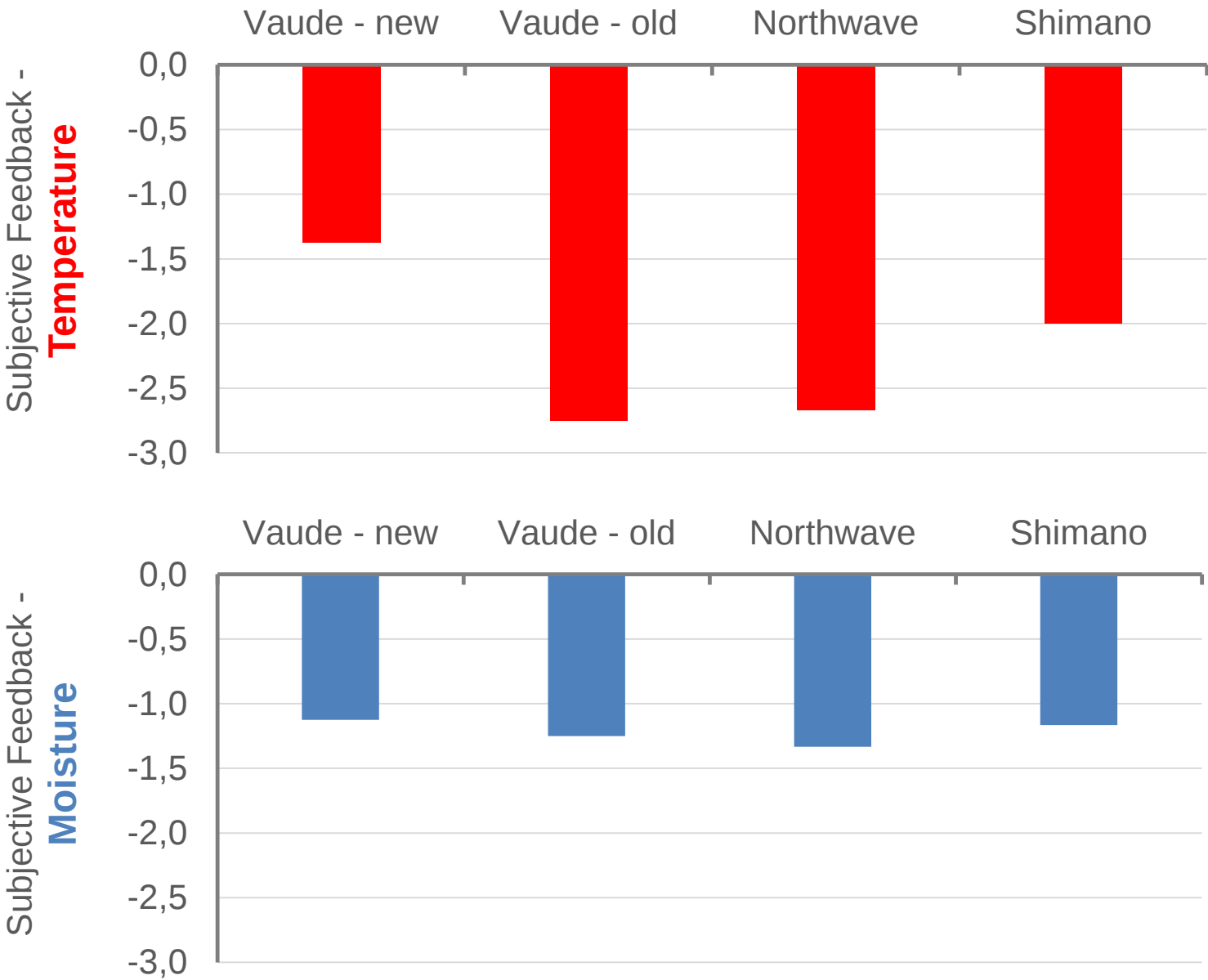
Feuchtigkeit	0	trocken
	-1	etwas feucht
	-2	feucht
	-3	sehr feucht

Temperaturverlust: $T_{t0} - T_{t30}$



- Messbereich:
distaler Fußrist/
Übergang
Zehenbereich
- n=4

Schritt 4: Konzeptevaluierung – Ergebnisse: Subjektive Evaluierung



Temperatur	3	heiß
	2	warm
	1	etwas warm
	0	neutral
	-1	etwas kühl
	-2	kühl
	-3	kalt
Feuchtigkeit	0	trocken
	-1	etwas feucht
	-2	feucht
	-3	sehr feucht

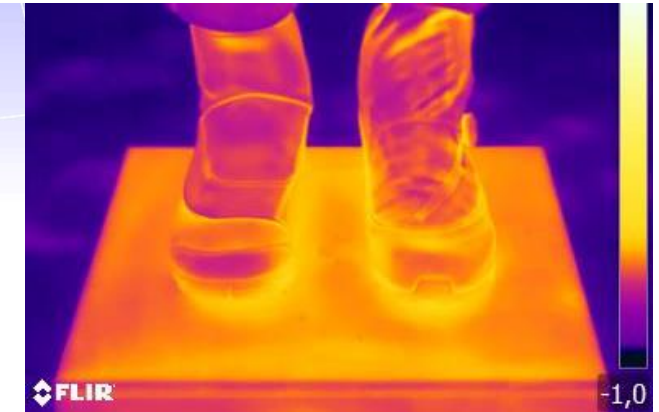
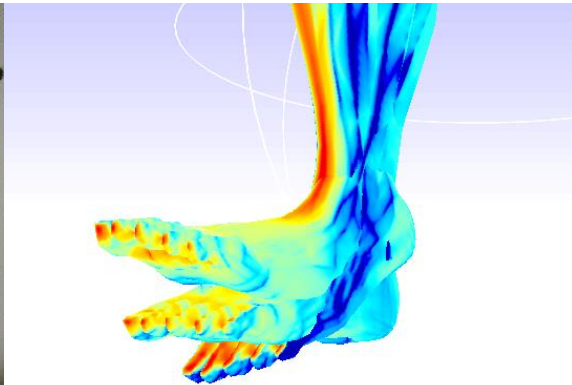
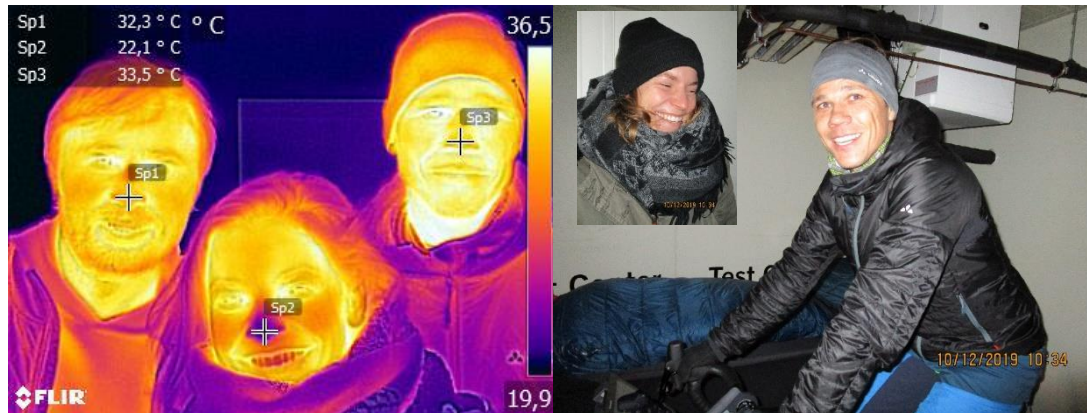
Ziel des FuE-Projektes: Optimierung eines Winter-Radschuhs (Isolationseigenschaften)

Projektschritte/-vorgehen

1. Literaturanalyse (2 Wochen):
 - Thermischer Komfort - Radfahren: Ø → Ski-, Wander-, Sicherheitsschuh („Normal-Temperatur“)
 - Fuss-Pedal-Winkel: Ø → abgeleitet aus Grafiken/Diagrammen (Fokus Leistungssport)
2. Analyse zur numerischen Strömungsmechanik (1 Woche)
 - AirShaper als kommerzieller Anbieter
3. Wissensimplementierung & Prototypenbau (12 Monate)
4. Konzeptevaluierung mittels Thermografie und subjektiver Komfortevaluierung
 - Datenaufnahme (4 Tage)
 - Datenaufbereitung & -analyse (1 Woche)
 - Dateninterpretation/Berichtserstellung (2 Wochen)

5. Markteinführung im September 2020...

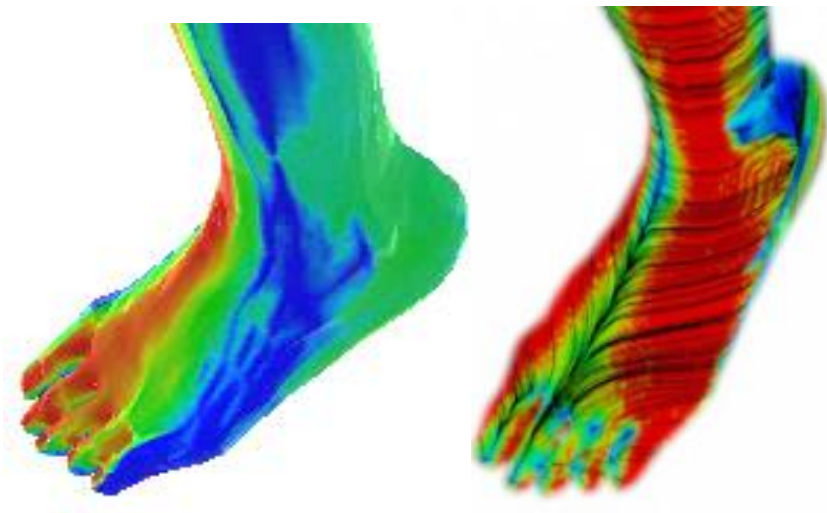
Verbesserung des thermischen Komforts von Winter-Radschuhen



Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit

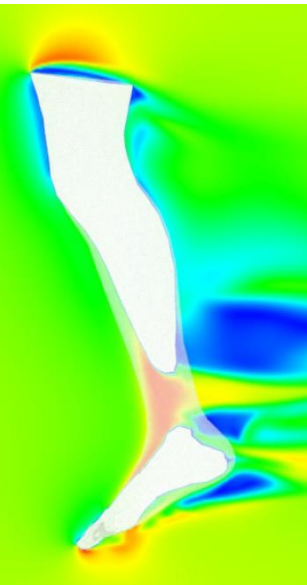


AirShaper – CFD Simulation



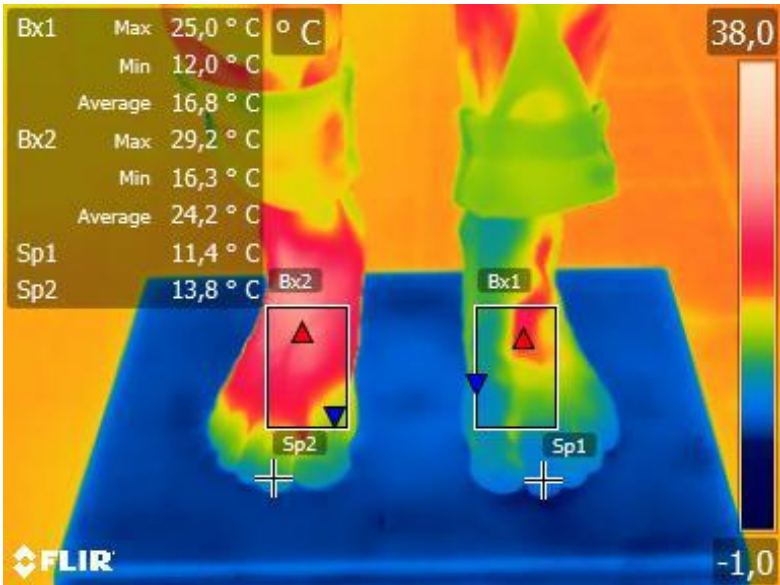
Surface Pressure
 (heel-up-position)

Surface Friction
 (heel-up-position)



2D Section Velocity
 (heel-up-position)

IR Imaging

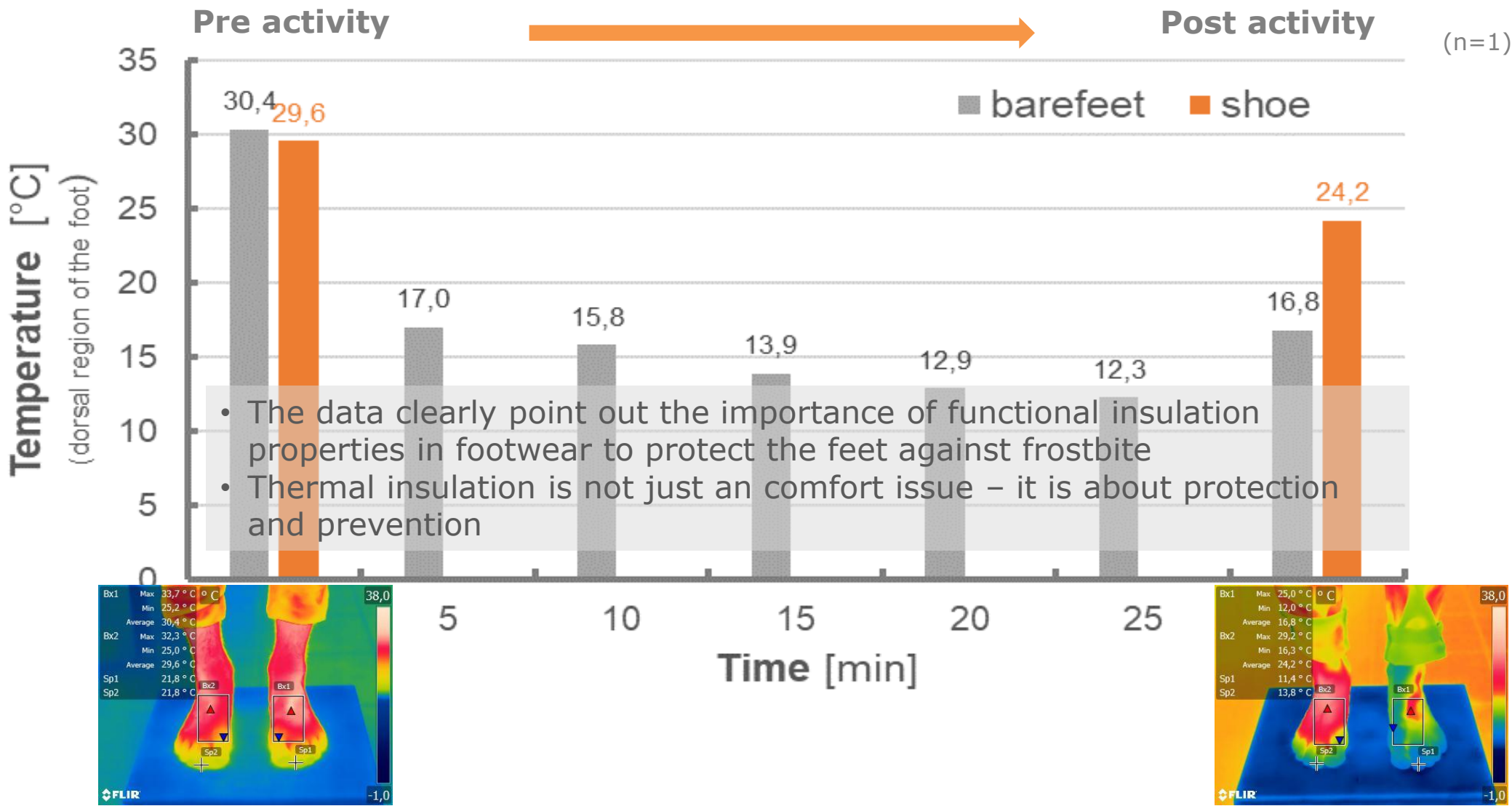


Temperature pattern after 30min cycling at 0°C
 (left foot: barefoot during cycling
 Right foot: all season bike shoe)



“Natural Color pattern” of the foot after 30min barefeet cycling at 0°C
 (in heel-up-position)

Temperature changes over time: barefoot vs. all season shoe (TRV)



Segment angle	Reference	Crank angle			
		0° / 360°	90°	180°	270°
Ankle angle	Carpes et al., 2014 (MTB)	+6°	-2° [dorsiflexion]	+11°	+9°
	Carpes et al., 2014 (Road)	+3°	-8° [dorsiflexion]	+4°	+8°
Foot-Pedal-angle (orientation)	Broker, 2003 (diagram)	+17° (73°)	-14° (104°) [heel-down]	+5° (85°)	+28° (62°) [heel-down]
	Broker, 2003 (illustration)	+20°	-5°	+2°	+34°
	Carpes et al., 2014 (illustration)	+21°	-12°	0°	+28°



Abgeleitete Fuss-Pedal-Positionen



„Heel-down“



„Neutral-0“



„Heel-up“

