

Phase change materials (PCM) : Erfahrungen aus Labor und Probandenversuchen

In den letzten Jahren sind immer häufiger sogenannte intelligente Textilien auf Basis von „Phase Change Materials“ (im folgenden nur noch mit PCM gekennzeichnet) auf dem Markt aufgetaucht, die in der Lage sein sollen, sich den ändernden Umgebungsbedingungen anzupassen. Der Effekt soll darin bestehen, dass Energie beim Wechsel des Aggregatzustandes von kleinen Wachskügelchen (Durchmesser ca. 10 bis 30 μm) gespeichert, oder wieder abgegeben werden kann. Diese Kügelchen sind durch eine äussere hauchdünne Kunststoffhülle geschützt, damit das Wachs im flüssigen Zustand nicht auslaufen kann. Dabei wechseln sie in einem definierten Temperaturbereich den Aggregatzustand: beim Aufheizen vom festen Zustand werden sie verflüssigt und nehmen dabei eine bestimmte Wärmemenge auf. Umgekehrt beim Herunterkühlen vom flüssigen in den festen Zustand wird eine definierte Menge Wärme wieder abgegeben. Die Kügelchen können in Acrylfasern eingesponnen, in eine Beschichtung eingesetzt oder in Schäume mit einer Dicke von 2 bis über 5 mm Dicke eingebracht werden.

Richtige Anwendung

Ein wichtiger Faktor ist der Ort der Wärmebildung resp. Wärmefreisetzung. Werden solche Materialien weit weg vom Körper eingesetzt, kann praktisch nur ein Bruchteil der freigesetzten Energie auch wieder dem Mensch zurückgeführt werden. Sind diese Materialien andererseits sehr nahe an der Haut plaziert sind, verändert sich, insbesondere im Rumpfbereich aufgrund seiner mehr oder weniger konstanten Hauttemperaturen, sehr wenig. Am Anfang kann zwar Energie gespeichert werden, jedoch nicht wieder dem Körper zurückgeführt werden, wenn die Mikrokapseln permanent flüssig sind. Prinzipiell eignen sich deshalb die Extremitäten besser für den Einsatz von PCM, da die Oberflächentemperatur von Armen und Beinen je nach Wärmemanko resp. -überschuss wärmer oder kälter sind.

Die Temperatur einer Jackeninnenseite ist während Ruhephasen, wenn sich der Mensch kaum bewegt, tief. Bewegt er sich, wird warme Luft vom Achselhöhlenbereich in den gesamten Rumpfbereich verteilt, die Temperatur einer Jackeninnenseite (wo sich das PCM befindet) steigt einige Grade an und kann einen Phasenwechsel bewirken. Um diese Energiespeicherungsmöglichkeit ausnutzen zu können, muss der Temperaturbereich öfters von unten nach oben und umgekehrt durchfahren werden und es müssen genügend PCM für den Phasenwechsel vorhanden sein.

Neue Messungen mit signifikanten Ergebnissen

Zahlreiche Messungen an diversen Apparaturen, die dynamisch unter möglichst realistischen Praxisbedingungen durchgeführt wurden, zeigen auf, dass ein „Effekt“ stattfindet. Es ist jedoch nicht nur, wie allgemein vermutet, allein der Wechsel des Aggregatzustandes. Die Wachskügelchen haben im flüssigen und im festen Zustand eine unterschiedliche Wärmeisolation: Im warmen (flüssigen) Zustand ist die Wärmeleitung höher, als wenn die Kugeln fest sind. Diese Änderung der Wärmeleiteigenschaft dauert im Gegensatz zu der Aggregatzustandsänderung deutlich länger und übt demzufolge einen grösseren Einfluss auf den Energietransport aus.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Reduktion der relativen Feuchte im Mikroklima (siehe Abb. 1) wie sie bei folgendem Probandenversuch festgestellt wurde:

Probandenversuch

	Bekleidungs Aufbau:	Bedingungen:
6 männliche Testteilnehmer Alter +/- 25 Jahre	Unterwäsche PES Langarm und Langhose	Kabinentemperatur 0°C
	Testkleidung mit PCM und ein- mal exakt gleich jedoch ohne PCM	Windgeschwindigkeit +/- 2m/s
	Handschuhe (ohne PCM)	Laufband-Steigung von 4%
	Stirnband	Laufbahn-Geschwindigkeit von 5 km/h
	Laufschuhe	Laufprogramm: 15 min. Gehen 15 min. Ruhe 15 min Gehen 15 min. Ruhe
		Jeder Versuch wurde zweimal gemessen.

Den Probanden wurde die Rektaltemperatur, die Mikroklimatemperatur und Feuchte im Brustbereich, Bauch, Rücken und beim Oberschenkel und an diversen Stellen die Hauttemperatur gemessen. Ebenso wurden die subjektiven Komfortaussagen über den Versuch hinweg protokolliert. Um die Lokalisation der Feuchte zu erhalten, wurden die Probanden und sämtliche Bekleidungssteile vor und nach dem Versuch gewogen. Obwohl die Rektaltemperatur während des gesamten Versuches anstieg (um 0.15 °C beim PCM und 0.25 °C beim Placebo) wurden die Ruhephasen subjektiv als etwas kühl empfunden. Die Hauttemperaturen waren beim PCM Muster durchwegs etwas tiefer als beim Placebo Muster.

Praktisch bei allen 4 Positionen der Abbildung 1 wurden im Mikroklima bei den PCM Mustern 2 bis 10% tiefere Feuchtigkeiten gemessen. Da der Feuchteabtransport bei beiden Bekleidungen identisch war, deutet auch die geringere Schwitzwassermenge in der Unterwäsche (Abb. 2) auf eine deutlich geringere Schweißproduktion in der PCM Bekleidung hin.

Abb. 1: Relative Feuchte im Mikroklima im Brustbereich

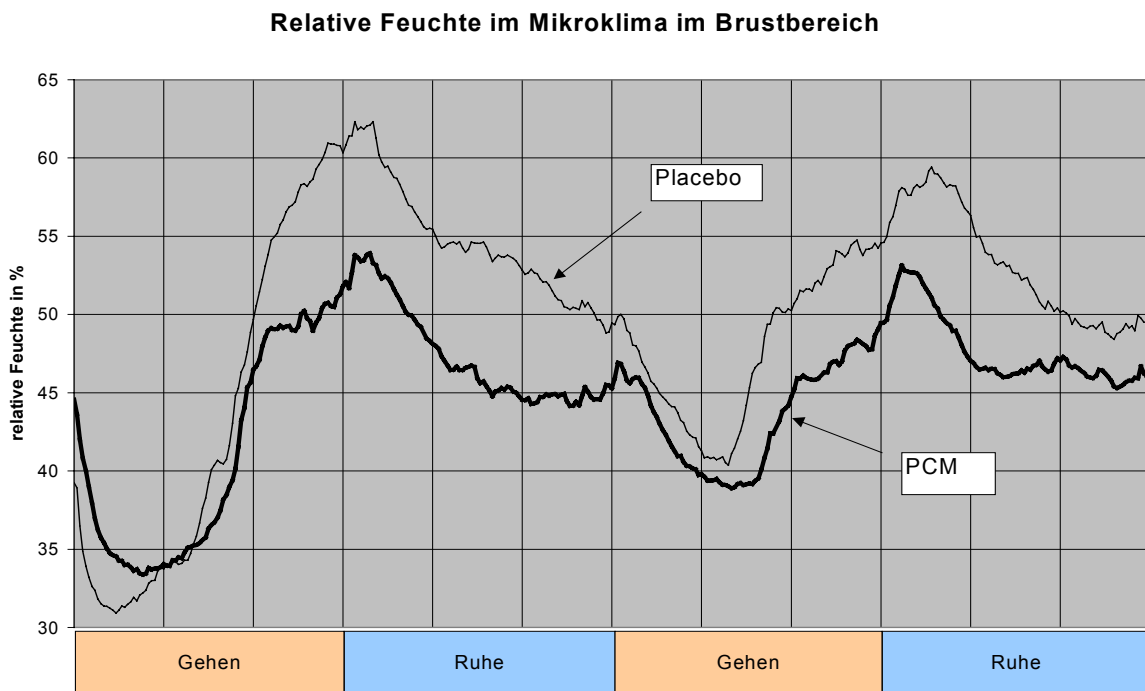
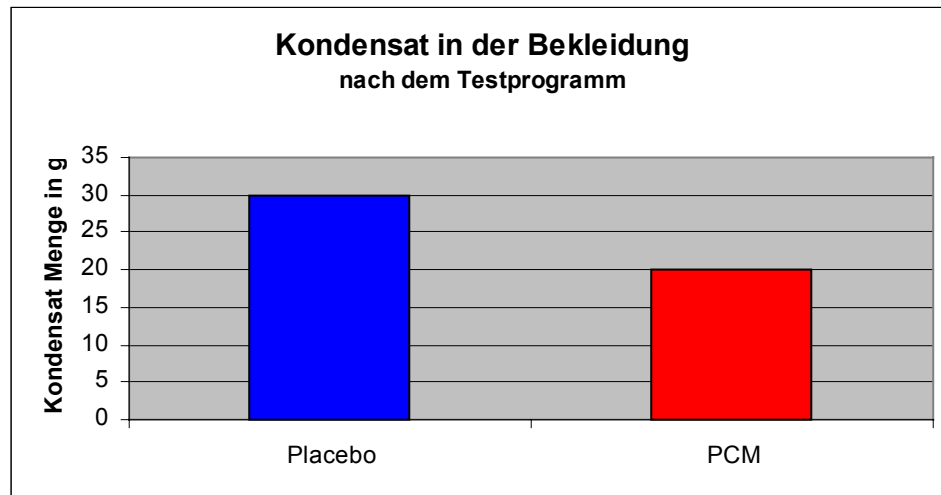


Abb. 2: Kondensat in der Bekleidung nach dem Test



Das PCM reduziert die relative Feuchte im Mikroklima signifikant, was zu einem höheren Komfortempfinden führen kann. Gemäss Studien von Scheurell et al., (1985) ist der Mensch in der Lage bereits kleine Änderungen der rel. Feuchte von 3 bis 5% wahrzunehmen. Es ist jedoch wichtig, dass die Schmelz- und Erstarrungstemperaturen richtig ausgelegt sind. Eine zu tiefe oder zu hohe Schmelztemperatur kann nicht nur den Effekt verhindern, sondern es kann sogar eine Komfortverschlechterung gegenüber dem Placebomaterial eintreten.

Fazit

PCM ist also nicht einfach nur ein Material, das man irgendwo in eine Bekleidungskombination zu stecken braucht und dann bereits eine Komfortverbesserung liefert. Soll das PCM auch tatsächlich Vorteile erbringen, so müssen folgende Fragen beantwortet sein:

- In welcher Schicht soll das PCM eingesetzt werden (Empfehlung: möglichst nahe beim Körper)?
- Welche Kapseln mit welchem Schmelzpunkt braucht es?
- Wieviel PCM muss pro m² reingepackt werden (mehr PCM verlängern die Funktion)?
- Welche zu erwartenden Temperaturen werden an dieser Stelle eintreten?
- Bei welchen Umgebungsbedingungen soll das PCM wirksam sein und wo nicht?
- An welchen Körperstellen soll PCM eingesetzt werden (vollflächig oder nur partiell)?
- Was für Aktivitäten fallen an und wie hoch ist die Wärmebildung?

All diese und noch weitere Fragen sollten exakt definiert sein um einen wirkungsvollen Einsatz des PCM zu erhalten.

Markus Weder
EMPA St.Gallen
Lerchenfeldstrasse 5
CH-9014 St.Gallen